



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO

**IDENTIFICAÇÃO DA FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL NA  
BACIA DO RIO SÃO MIGUEL, REGIÃO DO ALTO SÃO  
FRANCISCO – MG.**

**Samuel César Rodarte Costa**

Orientador: Prof. Dr. Edson Eyji Sano

Co-Orientador: Ricardo Seixas Brites

MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO DE  
ESPECIALIZAÇÃO

BRASÍLIA  
2012

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO

**IDENTIFICAÇÃO DA FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL NA  
BACIA DO RIO SÃO MIGUEL, REGIÃO DO ALTO SÃO  
FRANCISCO – MG.**

**Samuel César Rodarte Costa**

Orientador: Prof. Dr. Edson Eyji Sano

Co-Orientador: Ricardo Seixas Brites

MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO DE  
ESPECIALIZAÇÃO

BRASÍLIA  
2012

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**IDENTIFICAÇÃO DA FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL NA  
BACIA DO RIO SÃO MIGUEL, REGIÃO DO ALTO SÃO  
FRANCISCO – MG.**

**Samuel César Rodarte Costa**

Orientador: Prof. Dr. Edson Eyji Sano

Co-Orientador: Ricardo Seixas Brites

**MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO DE  
ESPECIALIZAÇÃO**

**COMISSÃO JULGADORA**

	Nome	Assinatura
Presidente:	Prof. Dr.	_____
Examinadores:	Prof. Dr.	_____
	Prof. Dr.	_____

**BRASÍLIA  
2012**

## Resumo

As florestas estacionais decíduais (FED) são uma fitofisionomia presente no bioma Cerrado. Elas são compostas de espécies caducifólias, que perdem até 85% das suas folhas na estação seca. A identificação desta fitofisionomia através de imagens monotemporais de satélites apresenta certas dificuldades, mas pode ser facilitada quando uma série de imagens do ciclo hidrológico ao longo do tempo é analisada. Neste estudo, foram analisadas séries de imagens multitemporais do satélite Landsat da bacia do rio São Miguel, Minas Gerais, para identificar a ocorrência de FED. Cinco imagens Landsat de maio a setembro de 2007 foram convertidas para o EVI2 (índice de vegetação realçado) e somadas uma a uma. Depois, foi executada uma classificação da imagem resultante (EVI2 acumulado) através do método de árvore de decisão. O intervalo numérico para a FED foi obtido pela análise estatística dos valores de pixels contidos na área de floresta seca delimitada em visitas à região da bacia. Aproximadamente 125 km<sup>2</sup> (23,5% da bacia) da FED foram identificadas por este método. Os resultados mostraram eficiência deste método no mapeamento da FED na área de estudo. A FED vem sofrendo intenso desmatamento, principalmente pelo aumento da fronteira agrícola e pelo avanço da mineração.

Palavras chave: Floresta estacional decidual, processamento de imagens, EVI2, bacia do rio São Miguel.

## **Abstract**

The deciduous forests (FED) are an important type of forestlands present in the tropical savanna (Cerrado). They are composed of deciduous species that lose up to 85% of the leaves in the dry season. The identification of representative types of tropical savanna's vegetation through monotemporal satellite images is difficult, but it may be facilitated when time series of images along the hydrological cycle are analyzed. In this study, we analyzed the time series of Landsat images from the Sao Miguel basin, Minas Gerais State, to identify FED occurrences. Five Landsat images from May to September of 2007 were converted into the EVI2 (enhanced vegetation index - two band) and summed one-by-one. After, it was executed a classification of the resultant image through decision tree method. The numeric range for the FED was obtained by statistical analysis of pixel values contained in the area of FED that was identified by the field survey in the basin region. Approximately 125 km<sup>2</sup> (23.5% of the basin) of FED were identified by this method. The results showed an increased improvement in the FED mapping in the study area. The FED has been suffering intense deforestation, mainly by the increase of the agricultural frontier and the advance of mining.

Key words: Deciduous forests, image processing, EVI2, São Miguel basin.

## Lista de Figuras

Figura 1 - Imagem Landsat/ETM de 01/04/2004 da bacia do rio São Miguel. ....	14
Figura 2 - Principais acessos à bacia do rio São Miguel. ....	15
Figura 3 - Biomas na bacia do rio São Miguel. ....	16
Figura 4 - Ocorrência de campo sujo na bacia do rio São Miguel. ....	17
Figura 5 - FED. ....	17
Figura 6 - Mata galeria. ....	18
Figura 7 - Geologia folha Piumhi. ....	19
Figura 8 - Mapa de solos. ....	22
Figura 9 - MDE da bacia do rio São Miguel. ....	26
Figura 10 - Drenagem bacia do rio São Miguel. ....	27
Figura 11 - Pluviosidade para a estação de Bambuí, 2007. Inmet. ....	28
Figura 12 - Organograma do trabalho. ....	30
Figura 13 - Valores de EVI2 derivados de imagens Landsat para o campo sujo, mata de galeria, e mata seca da bacia do rio São Miguel - MG. Eixo Y: valores de EVI2; eixo X: meses de referência e EVI2 Acumulado. ....	35
Figura 14 - Imagem de EVI2, maio de 2007. ....	36
Figura 15 - Imagem de EVI2, setembro de 2007. ....	37
Figura 16 - Imagem de EVI2 acumulado. ....	38
Figura 17 - Configuração utilizada para classificação da imagem de EVI2 acumulado no módulo Decision Tree. ....	40
Figura 18 - Localização da FED. ....	41

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1 - Origem dos dados vetoriais.....	31
Tabela 2 - Órbita/ponto e data de passagem do satélite Landsat. ....	31
Tabela 3 - Classificação dos Valores de Pixels.....	38
Tabela 4 - Intervalos de EVI2 Acumulado. ....	39
Tabela 5 - Quantificação de áreas ocupadas por diferentes classes de vegetação da área de estudo.....	41

## Sumário

1.	INTRODUÇÃO .....	8
2.	OBJETIVOS .....	9
3.	REVISÃO DE LITERATURA.....	10
3.1.	PROCESSAMENTO DE IMAGENS .....	10
3.2.	FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL.....	11
3.3.	ÍNDICES DE VEGETAÇÃO .....	12
4.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	14
4.1.	CARACTERÍSTICAS GERAIS E LOCALIZAÇÃO .....	14
4.2.	VEGETAÇÃO .....	15
4.2.1.	Cerrado .....	16
	Campo Sujo .....	16
	Floresta Estacional Decidual .....	17
	Mata de Galeria.....	17
4.3.	GEOLOGIA.....	18
4.3.1.	Metaconglomerados .....	19
4.3.2.	Granitóides granodioríticos a monzograníticos .....	19
4.3.3.	Grupo Bambuí - Formação Sete Lagoas .....	20
4.3.4.	Sete Lagoas, calcipelitos laminados .....	20
4.3.5.	Sete Lagoas, calcário.....	20
4.3.6.	Depósitos Aluvionares .....	20
4.4.	PEDOLOGIA.....	21
4.4.1.	Latossolos .....	22
4.4.2.	Cambissolos .....	23
4.4.3.	Neossolos .....	23
	Neossolo Flúvico.....	24
	Neossolo Litólico .....	24
4.4.4.	Argissolos .....	24
4.5.	GEOMORFOLOGIA.....	25
4.6.	MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO.....	26
4.7.	HIDROGRAFIA.....	26
4.8.	CLIMA.....	27
4.9.	ASPECTOS ECONÔMICOS E SOCIAIS .....	28
4.9.1.	Formiga .....	28
4.9.2.	Arcos .....	28
4.9.3.	Pains .....	29
4.9.4.	Córrego Fundo .....	29
4.9.5.	Iguatama .....	29
5.	METODOLOGIA .....	30
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
7.	CONCLUSÃO .....	42
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	43



## 1. INTRODUÇÃO

Através da análise e do processamento de imagens Landsat, é possível diferenciar fitofisionomias vegetais distintas de uma determinada área. Com o diferenciamento pode-se classificar com mais precisão a cobertura do solo de uma região. Segundo Sano *et al.* (2008), é difícil discriminar, com imagens monotemporais, vegetações que apresentam grande variação fenológica, principalmente em função da semelhança na resposta espectral em determinadas fases do ciclo hidrológico. Essa dificuldade está presente na diferenciação da resposta espectral das fitofisionomias do cerrado ao longo do ciclo hidrológico, principalmente quando se trata da Floresta Estacional Decidual (FED).

O monitoramento da ocupação dos solos do Cerrado é um dos mais difíceis de serem obtidos, principalmente pela sua extensão (mais de 200 milhões de hectares), pela acentuada sazonalidade das suas principais fitofisionomias, pelo rápido avanço das atividades agrícolas em algumas das suas regiões, pela elevada diversidade vegetal e fisiográfica e pela confusão espectral entre algumas classes de uso antrópico e de vegetação natural (SANO e FERREIRA, 2005).

Segundo Murphy e Lugo (1986), Prado (2000) e Sanchez-Azofeifa *et al.* (2005), a “Mata de Pains”, como é conhecida regionalmente, é definida como floresta tropical seca, constituindo uma FED que atualmente possui distribuição escassa no Brasil, principalmente quando está associada a afloramentos calcários, e é composta por inúmeras espécies endêmicas (FELFILI *et al.*, 2007). Essa fitofisionomia tem sofrido intensa degradação em função de sua localização em solos de alta fertilidade associados a substrato calcário (RIBEIRO e WALTER, 2008).

A área delimitada para estudo, a bacia do rio São Miguel, está inserida no alto da bacia do rio São Francisco, em uma região cárstica localizada no sudoeste de Minas Gerais, abrangendo os municípios de Arcos, Pains, Córrego Fundo, Formiga e Iguatama. Sua escolha se deu pela importância geoeconômica e por apresentar características peculiares relacionadas a FED e afloramentos calcários. Com a análise e o processamento de imagens do Landsat TM no software Envi 4.8, foi comparado o comportamento espectral dos alvos de FED e de diferentes fitofisionomias ao longo do ciclo hidrológico a fim de verificar onde a diferença da resposta espectral será mais significativa.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é identificar a presença de FED na bacia do rio São Miguel através do EVI2 acumulado aplicado a uma série temporal (maio a setembro de 2007) de imagens Landsat TM e avaliar se este método é eficiente para tal finalidade.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. PROCESSAMENTO DE IMAGENS

As imagens TM e ETM+ do satélite Landsat constituem-se num dos produtos mais adequados para o desenvolvimento da classificação da cobertura do solo, devido à sua resolução espacial de 30 metros, à resolução temporal de 16 dias, à cobertura sinóptica do terreno e à eficiência na identificação das principais feições de cobertura da superfície terrestre, por meio de diferentes bandas nas regiões espectrais do visível ao infravermelho de ondas curtas (GOWARD *et al.*, 2001).

Segundo Sano e Ferreira (2005), um fator relevante que deve ser considerado no mapeamento de uso da terra do Cerrado é a escolha de uma abordagem metodológica correta de processamento de imagens.

Os corretores atmosféricos são utilizados para corrigir a radiância do sensor das interferências atmosféricas e são executados através da modelagem matemática do comportamento físico da radiância que atravessa a atmosfera (ENVI, 2010).

O QUAC é um módulo de correção atmosférica presente no *software* Envi 4.8 que foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Espectrais do laboratório de pesquisas da Força Aérea dos Estados Unidos da América em 1989 (ENVI, 2010).

Ao contrário de outros métodos de correção atmosférica, o QUAC determina os aspectos de compensação relacionados à atmosfera através do espectro dos pixels presentes dentro da própria cena, sem necessitar de informações complementares, exceto a medida do comprimento de onda das bandas. Ele é fundamentado na observação empírica de que a reflectância média de um conjunto dos espectros de diferentes alvos é essencialmente independente da cena, possibilitando velocidade computacional quando comparado com outros corretores. (ENVI, 2010). O QUAC cria uma imagem de reflectância de resolução radiométrica de dois *bits*.

Segundo o tutorial de ajuda do *software* Envi 4.8, os requisitos de entrada dos dados para a utilização do QUAC podem está em radiância, portanto não foram encontrados trabalhos que contrariam a utilização do QUAC com número digital ou trabalhos que confirmam a utilização apenas com reflectância. De acordo com Meneses (2012), para a maioria das aplicações de sensoriamento remoto e das técnicas de processamento de imagens, se usa imagens no formato digital aceitando-se que os valores digitais são representações bem próximas da reflectância. Mediante as evidências citadas acima, o QUAC foi utilizado com números digitais no presente trabalho.

A utilização exclusiva de métodos tradicionais de classificação digital supervisionada ou não supervisionada de imagens como o MaxVer, distância média,

K-médias ou isodata (SCHOWENGERDT, 1997), não funciona a contento para o caso específico desse bioma por causa da influência significativa e variada dos diferentes tipos de solos, condições topográficas e manejo de solos sobre a resposta espectral da cobertura vegetal natural ou artificial. Pelo referido motivo, neste trabalho utilizou-se o algoritmo de classificação de imagens denominado árvore de decisão disponível no *software* ENVI 4.8 para a classificação da imagem de EVI (índice de vegetação realçado) acumulado.

No que se refere ao reconhecimento de padrões, a classificação consiste em atribuir a cada objeto de interesse um rótulo ou identificador de classe (THEODORIDIS e KOUTROUMBAS, 2006).

De acordo com Quinlan (1993), a classificação com árvore de decisão tem como vantagem a posse da natureza e propriedades não-paramétricas, podendo ser utilizada na classificação de imagens através de distribuições estatísticas diferentes da distribuição gaussiana, heterogênea e possuidoras de ruídos.

Procedimento semelhante foi testado por Ratana *et al.* (2005), que conseguiram melhorar a capacidade de discriminação de algumas classes de cobertura vegetal natural e antrópica do Cerrado a partir do acúmulo de valores provenientes de dois índices de vegetação, o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e o EVI.

Hermuche e Sano (2011), trabalharam com um método semelhante ao utilizado no presente trabalho: a diferenciação entre a FED e fisionomias florestais a partir da reflectância acumulada, onde este mostrou-se eficiente uma vez que considera o comportamento da vegetação ao longo do ciclo hidrológico.

Para a reflectância acumulada, os valores de reflectância das cenas individuais foram acumulados mês a mês e banda a banda. Por hipótese, a capacidade de discriminação da FED nas imagens com reflectância acumulada é maior do que qualquer outra cena individual (HERMUCHE e SANO, 2011).

### **3.2. FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL**

O cerrado brasileiro abrange cerca de 2 milhões de km<sup>2</sup>, aproximadamente 22% do território brasileiro (OLIVEIRA-FILHO e RATTER, 2002) e 56,5% do estado de Minas Gerais (SCOLFORO *et al.*, 2008).

Segundo Ribeiro e Walter (2008), o bioma cerrado possui 11 principais tipos de fitofisionomias, divididas entre formações florestais, savânicas e campestres. Nas formações florestais incluem-se as matas ciliares, matas de galeria, FED e cerradão; já nas formações savânicas incluem-se o cerrado sentido restrito, parque de cerrado,

palmeiral e vereda; e nas formações campestres incluem-se o campo sujo, campo limpo e campo rupestre.

As florestas estacionais ocorrem em pelo menos três biomas brasileiros: Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga (HERMUCHE, 2010). Esta fitofisionomia pode ser considerada uma vegetação de transição entre esses três biomas, uma vez que apresenta afinidades florísticas com todos eles (FELFILI *et al.*, 2007). Ocorrem na forma de disjunções florestais, apresentando o extrato dominante macro ou mesofanerófito e predominantemente caducifólio, com mais de 50% dos indivíduos despidos de folhagem no período de estiagem (IBGE, 1992).

A FED é composta por espécies com alta deciduidade nos períodos secos e grande perenidade nos períodos chuvosos, fazendo com que facilmente se confunda com formações campestres e/ou florestais, respectivamente, dificultando a elaboração de mapas precisos de sua localização, úteis para subsidiar estratégias de conservação (HERMUCHE e SANO, 2011). Estas espécies ocorrem originalmente fragmentadas (PRADO e GIBBS, 1993) e encontram-se sobre solos desenvolvidos de rochas básicas de alta fertilidade (calcário) e clima sazonal com duas estações bem definidas, uma seca e uma chuvosa (MURPHY e LUGO, 1986).

Segundo Hermuche e Felfili (2011), análises temporais são importantes subsídios na identificação e caracterização das florestas, sobretudo quando se leva em consideração as alterações ao longo do ciclo hidrológico, ou seja, quando as análises são feitas nas épocas secas e chuvosas.

Dentre os elementos constituintes da vegetação, a folha é o principal quando se refere à interação da energia eletromagnética, sendo que seu comportamento pode ser observado em três regiões específicas do espectro: no visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas (MENESES e MADEIRA NETTO, 2001).

### **3.3. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO**

Através do sensoriamento remoto, é possível obter índices de vegetação extremamente úteis para a caracterização ambiental de amplas áreas (MACHADO *et al.*, 2009).

De acordo com Ponzoni (2001), a reflectância espectral dos alvos vegetais tem sido transformada e combinada em índices de vegetação para minimizar a variabilidade causada por fatores externos, onde os índices mais empregados utilizam a informação contida nas reflectâncias de dosséis referentes à regiões do vermelho e do infravermelho próximo, que são combinadas sob forma de razões.

Os índices de vegetação são considerados medidas ópticas de “verdura” da cobertura vegetal, propriedade composta de clorofila, área foliar, cobertura aérea e arquitetura da copa (JIANG *et al.*, 2008).

Segundo Albuquerque *et al.* (2010), os Índices de vegetação quando, associados às diversas técnicas de processamento digital de imagens, às metodologias mais aprimoradas de classificação e à modelagem de dados ambientais, podem proporcionar maior detalhamento e precisão nos mapeamentos de cobertura do solo.

Através dos índices de vegetação é possível aproveitar propriedades reflexivas das folhagens e assim obter características relacionadas à fisiologia do dossel ou a área foliar de determinadas fitofisionomias vegetais (ROCHA e SHAVER, 2009).

O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) ainda é o índice mais empregado em pesquisas envolvendo sensoriamento remoto de vegetação, entretanto sua eficiência diminui quando o alvo possui elevada biomassa devido ao fenômeno da saturação (ALBUQUERQUE *et al.*, 2010).

Já o EVI (*Enhanced Vegetation Index*) foi desenvolvido para melhorar a capacidade de detecção em regiões de maiores densidade de biomassa e para diminuir a influência do solo e da atmosfera sobre a resposta do dossel (PONZONI e SHIMABUKURO, 2007; JENSEN, 2009).

Segundo Huete *et al.* (2002), o EVI parece ser mais sensível à variação da estrutura do dossel, incluindo o Índice de Área Foliar (IAF), a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel quando comparado ao NDVI.

O EVI é um NDVI modificado, contendo fator de ajuste para solos e coeficientes que utilizam a banda azul para corrigir espalhamento atmosférico por aerossóis na banda vermelha (JENSEN, 2009). Porém, a utilização da banda do azul na sua formulação impede sua aplicação quando os dados disponíveis são provenientes de sensores que não operam nesta região espectral (JIANG *et al.*, 2008), como o TM/Landsat por exemplo.

Segundo Jiang *et al.*, (2008), a banda do azul utilizada no EVI não fornece informações adicionais sobre as propriedades biofísicas da vegetação, por isso, foi desenvolvido o EVI2, que não utiliza a banda azul. O EVI2 poderá ser um substituto aceitável para o EVI quando a imagem for de boa qualidade e quando for feita a correção atmosférica (ALBUQUERQUE *et al.*, 2010).

Embora o EVI2 seja calculado sem a banda do azul, ele permaneceria funcionalmente equivalente ao EVI, entretanto ligeiramente mais propenso ao ruído proveniente de aerossóis que pode ser insignificante com o avanço tecnológico dos corretores atmosféricos, (JIANG *et al.*, 2008).

#### 4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

##### 4.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS E LOCALIZAÇÃO

Com área de drenagem de aproximadamente 530 km<sup>2</sup>, a bacia hidrográfica do rio São Miguel está inserida entre os paralelos 20°10' e 20°29' de latitude sul, e os meridianos de 45°30' e 45°45' de longitude oeste. Ela abrange parte dos municípios de Pains, Arcos, Iguatama, Formiga e Córrego Fundo, estado de Minas Gerais. A Figura 1 apresenta a localização da bacia.

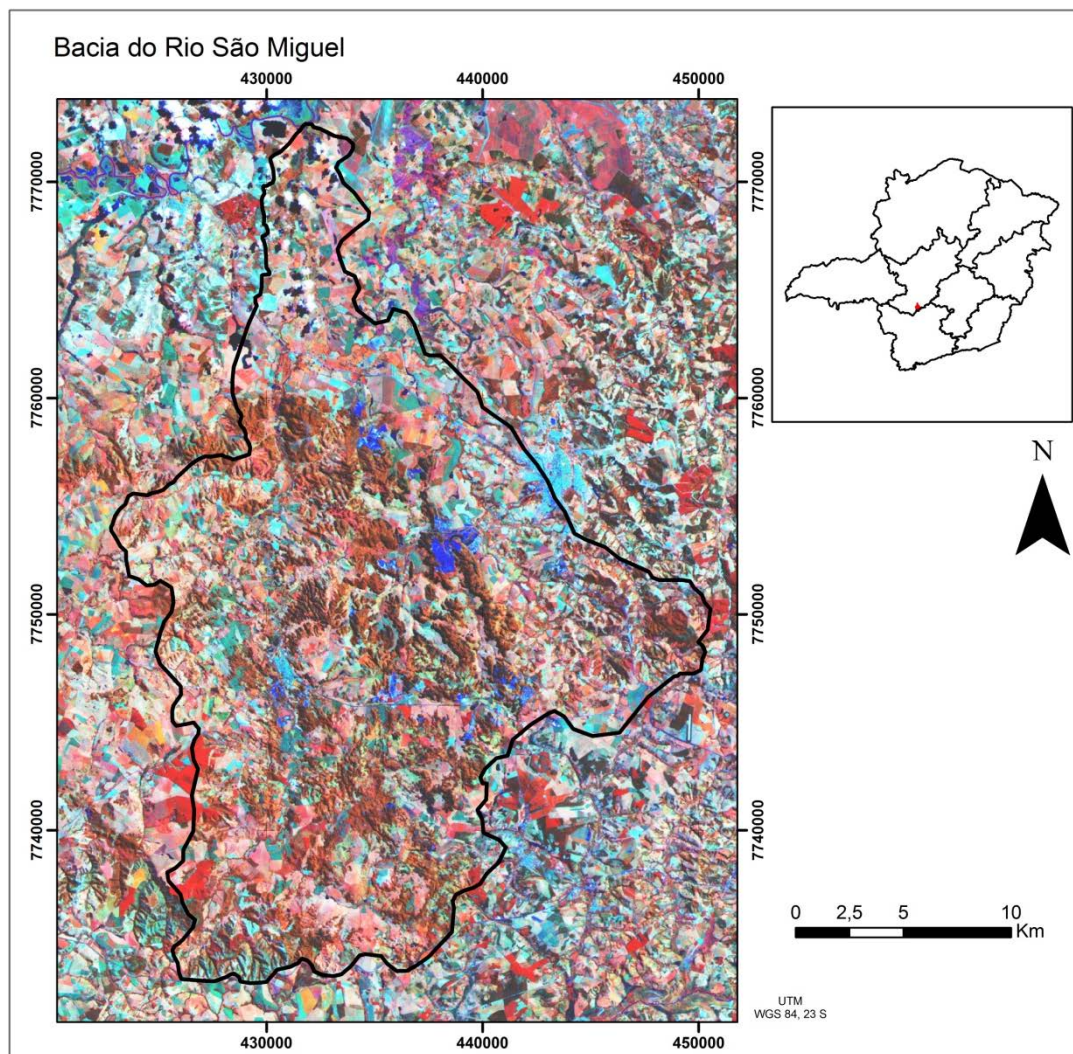


Figura 1 - Imagem Landsat/ETM de 01/04/2004 da bacia do rio São Miguel. Composição R4; G5; B3.

Os principais acessos para os municípios vizinhos à bacia são: MG-050 que liga os municípios de Formiga à Pimenta, passando por Córrego Fundo; MG-170 que liga os municípios de Pimenta à Pains; BR-354 que liga Formiga à Iguatama, passando por Arcos; MG-439 que liga a BR-354 ao município de Pains; e a LMG-830 que liga a MG-050 à MG-439, passando por Córrego Fundo, além de outros acessos vicinais não pavimentados como apresentados na Figura 2.

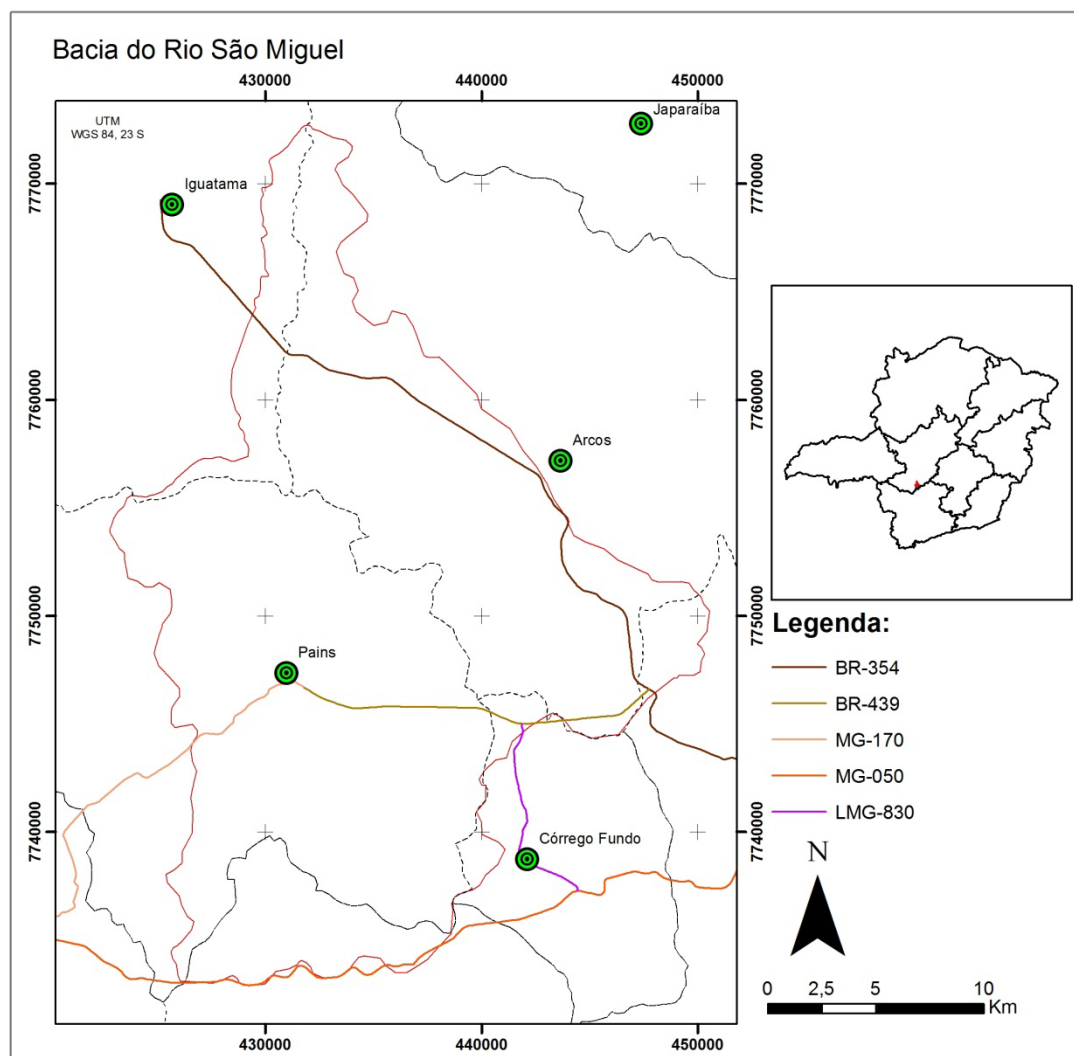


Figura 2 - Principais acessos à bacia do rio São Miguel.

#### 4.2. VEGETAÇÃO

Segundo o Inventário Florestal realizado pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) e pelo Instituto Estadual de Florestas (IEF) (SCOLFORO *et al.*, 2009), a bacia do rio São Miguel é composta pelos biomas Cerrado (98,9%) e no extremo leste da bacia, por uma porção de Mata Atlântica (1,1%) como ilustrado na Figura 3.



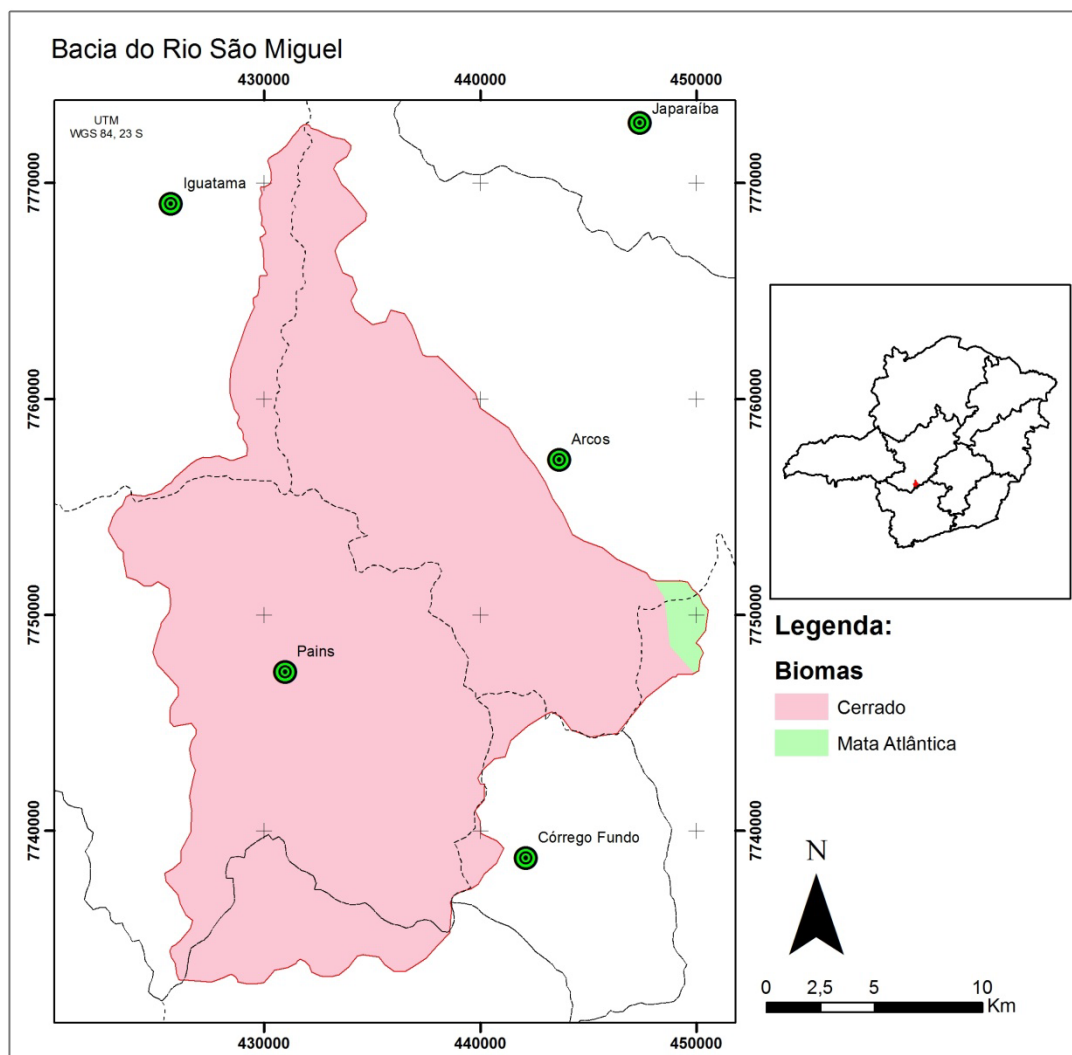


Figura 3 - Biomas na bacia do rio São Miguel.

#### 4.2.1. CERRADO

Dentre as fitofisionomias do bioma cerrado, foram identificadas na bacia, campo sujo, florestas estacionais decíduas e semidecíduas e as matas de galerias.

A não existência de outras fitofisionomias na bacia se deve principalmente ao avanço das atividades agrícolas nas áreas com solos de alta fertilidade associados a substrato calcário (RIBEIRO e WALTER, 2008).

#### Campo Sujo

O Campo Sujo é um tipo fisionômico exclusivamente arbustivo-herbáceo, com arbustos e subarbustos esparsos, cujas plantas, muitas vezes, são constituídas por indivíduos menos desenvolvidos das espécies arbóreas do Cerrado sentido restrito (Figura 4). Esta fitofisionomia é encontrada em solos rasos, como Neossolos Litólicos, Cambissolos, eventualmente em pequenos afloramentos rochosos ou ainda em solos profundos de baixa fertilidade, como Latossolos e Neossolos Quartzênicos (RIBEIRO e WALTER, 2008).

A Figura 4 ilustra a ocorrência de tal fitofisionomia na bacia do rio São Miguel.



Figura 4 - Ocorrência de campo sujo na bacia do rio São Miguel.

### **Floresta Estacional Decidual**

Segundo Haddad (2007), a fisionomia é sempre verde nos meses chuvosos, e completamente seca com queda quase total das folhas do estrato dominante nos períodos de estiagem, de junho a outubro. As espécies que mais caracterizam o estrato arbóreo são Angico, Jequitibá Rosa, Copaíba, Aroeira, Angico Vermelho e Canelas (BRASIL, 1983).

A FED pode apresentar aspecto singular (estrutura e ambiente) quando ocupa áreas rochosas de origem calcária (WALTER, 1996) e tais aspectos possuem composição florística distinta dos demais tipos de Mata Seca. As copas não se tocam necessariamente, fornecendo cobertura arborea de 60 a 90% na estação chuvosa e de 35% até 15% na estiagem (RIBEIRO e WALTER, 2008).



Figura 5 - FED.

### **Mata de Galeria**

A mata de galeria (Figura 6) é a vegetação florestal que acompanha os riachos de pequeno porte e córregos inseridos no bioma Cerrado, formando corredores fechados sobre os cursos d'água e drenagens onde os cursos ainda não escavaram o

canal definitivo (RATTER *et al.*, 1973; RIBEIRO *et al.*, 1983; RIBEIRO e WALTER, 1998).

A altura média das árvores varia entre 20 a 30 metros, fornecendo superposição das copas de 70% a 95% e alta umidade no seu interior, mesmo no período de seca (RIBEIRO e WALTER, 2001). A Figura 6 apresenta a fitofisionomia de mata de galeria encontrada na bacia do rio São Miguel.



Figura 6 - Mata galeria.

#### 4.3. GEOLOGIA

Na bacia do rio São Miguel ocorre litologias do Complexo Granito-Gnáissico, Metaconglomerado e do Grupo Bambuí (Formação Sete Lagoas), além de depósitos aluvionares, como esboçado na Figura 7.

Não foram encontrados dados referentes ao extremo leste da bacia em escala similar à 1:100.000, portanto esta área não foi descrita.



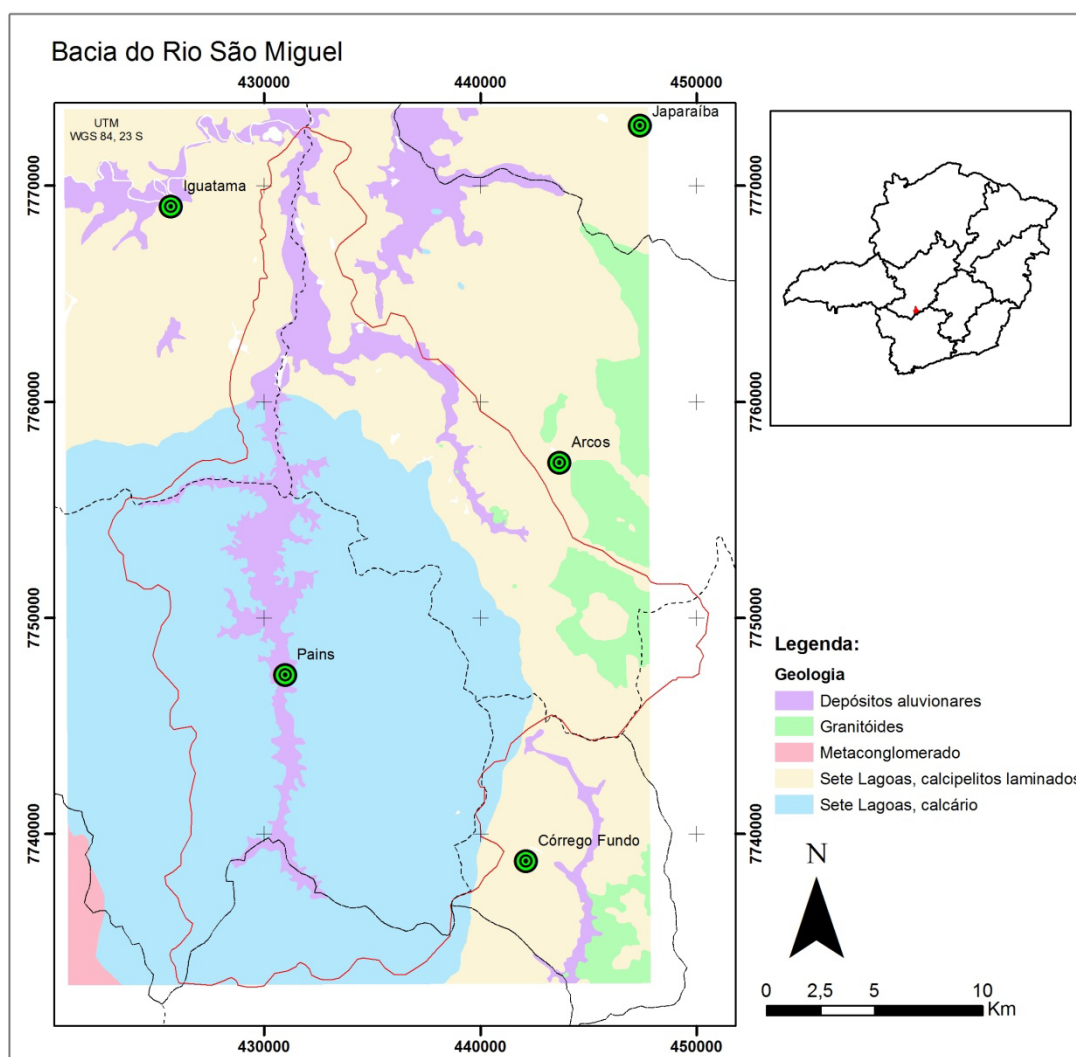


Figura 7 - Geologia folha Piumhi.

#### 4.3.1. METACONGLOMERADOS

São rochas metamórficas originadas do metamorfismo de conglomerados sedimentares. Dependendo do grau metamórfico, os metaconglomerados podem ter seus seixos achatados e alinhados segundo seu eixo maior, que se posicionam ortogonalmente em relação à direção de maior esforço tectônico.

#### 4.3.2. GRANITÓIDES GRANODIORÍTICOS A MONZOGRANÍTICOS

O Complexo Granito-gnáissico aflora apenas no extremo leste da área estudada e quase sempre se encontra bastante alterado. Trata-se de granitóide cinza claro, de granulação grossa, foliação incipiente, composto essencialmente por quartzo, feldspatos e biotita (DIAS e VELASQUES, 2002).

As rochas deste complexo arqueano formam o embasamento da seqüência pelito-carbonatada do Grupo Bambuí na região, tendo com estas um contato erosivo e irregular (DIAS e VELASQUES, 2002).

#### 4.3.3. GRUPO BAMBUÍ - FORMAÇÃO SETE LAGOAS

Na região da Folha Piumhi os calcários têm sido tradicionalmente incluídos na Formação Sete Lagoas e os calcipelitos em parte incluídos no SubGrupo Paraobepa. Rochas carbonáticas são caracterizadas pela sua granulometria, proporção de matriz, seleção e componentes essenciais, ou seja, intraclastos, oolitos, pelóides e bioclastos (CRPM, 2007).

#### 4.3.4. SETE LAGOAS, CALCIPELITOS LAMINADOS

Este tipo de sucessão é formado pelo monótono empilhamento de camadas tabulares delgadas (1-10cm) e mais raras médias (10-30cm) ou espessas (30-100cm). As rochas são finas e a estrutura interna nas camadas aparentemente é maciça. Mas, as rochas estão sempre muito alteradas, com cores amareladas e menos freqüentes rosadas e na maioria dos afloramentos aparecem dobradas o que dificulta a interpretação paleoambiental (CRPM, 2007).

#### 4.3.5. SETE LAGOAS, CALCÁRIO

Sob a denominação geral de calcários cinzentos inclui-se aqui uma variedade de rochas carbonáticas, cinzentas a quase negras, a maioria microfaneríticas. Por suas estruturas primárias, por exemplo, estratificação cruzada, grande parte destas rochas são calcarenitos ou grainstones. Portanto são calcários, calcários com dolomita e calcários dolomíticos. Na maioria das rochas ocorre calcita microespática ou micrítica e escassos cristais espáticos isolados. A dolomita aparece em cristais xenomórficos e em poiquiloblastos gerando textura mosqueada (CRPM, 2007).

#### 4.3.6. DEPÓSITOS ALUVIONARES

A aluvião é um depósito de sedimentos clásticos (areia, cascalho e/ou lama) formado por um sistema fluvial no leito e nas margens da drenagem, incluindo as planícies de inundação e as áreas deltaicas, com material mais fino extravasado dos canais nas cheias. Sedimentos clásticos depositados em zonas estuarinas e, para alguns autores, sedimentos terrígenos trabalhados diretamente por ondas nas zonas costeiras marinhas ou lacustrinas também são considerados aluviões.

Os depósitos aluvionares são muito retrabalhados e mutáveis devido à erosão fluvial. Depositados durante as secas ou nos locais de remansos quando cai a energia da corrente do rio, vão ser, em seguida, erodidos pela força da água da cheia ou pela mudança do curso do rio. Estruturas de estratificação cruzada de canal *cut and fill* são formadas assim.

Normalmente são depósitos clásticos mal classificados e mal selecionados, de cascalho, areias e lamas, podendo ocorrer depósitos de blocos maiores, às vezes bem arredondados nas regiões elevadas das cabeceiras com maior energia fluvial.

Apresentam maior desenvolvimento nas planícies de inundação, com lamas (silte e argilas) por extensas áreas, e em sopés de montanhas como leques aluviais, com depósitos comuns de fanglomerados e areias associados que atingem boa expressão areal e grandes espessuras. Os depósitos aluvionares, normalmente muito férteis para a agricultura, tem sido fator da maior importância para o desenvolvimento das sociedades humanas.

#### **4.4. PEDOLOGIA**

Segundo dados da Universidade Federal de Viçosa (UFV, 2010), na bacia do rio São Miguel são encontrados 7 tipos de solo distribuídos em Latossolos, Cambissolos, Neossolos e Argissolos, como apresentado na Figura 8.

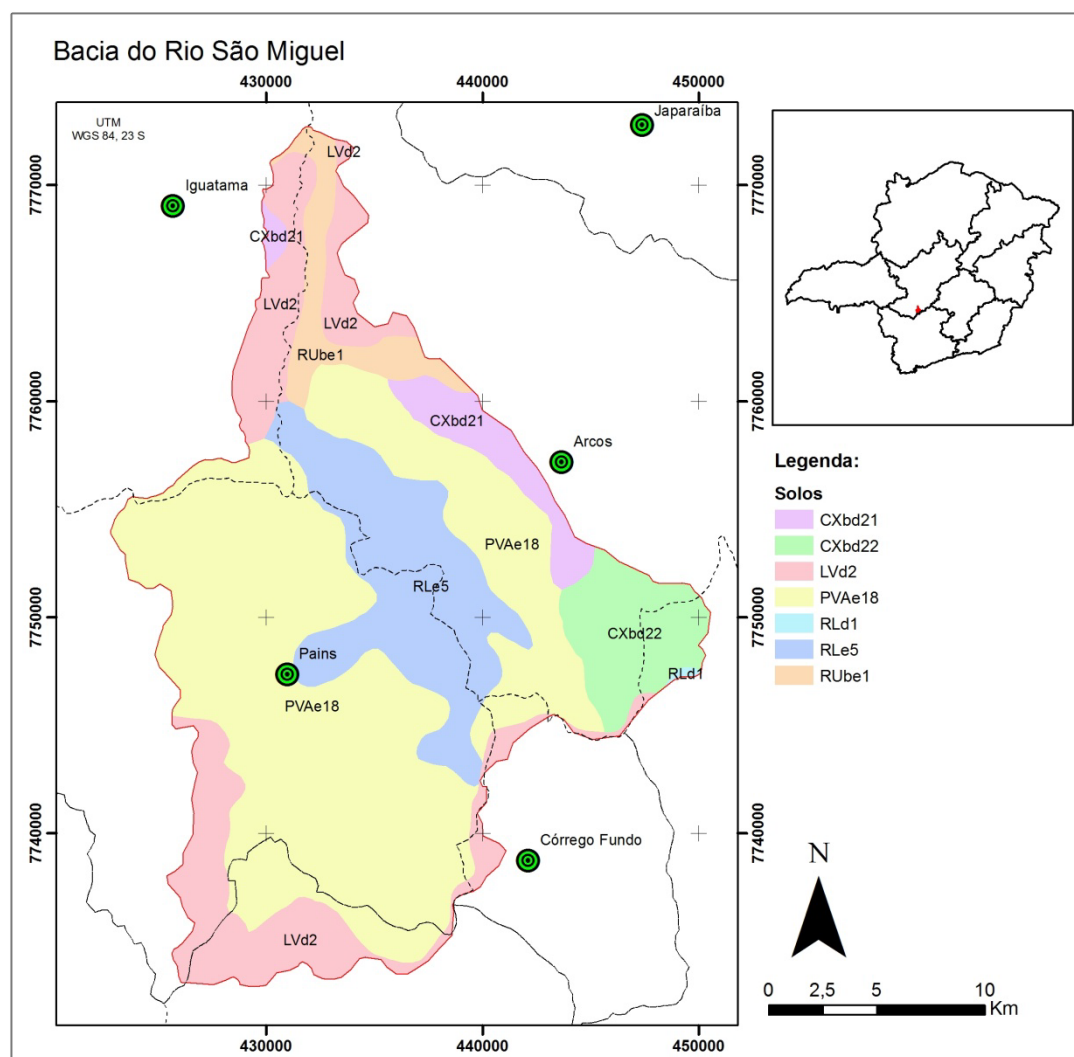


Figura 8 - Mapa de solos.

#### 4.4.1. LATOSSOLOS

Os Latossolos são constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200cm da superfície do solo ou dentro de 300cm, se o horizonte A apresenta mais que 150cm de espessura. Possuem evolução muito avançada com atuação expressiva de processo de latolização (ferralitização ou laterização), segundo intemperização intensa dos constituintes minerais primários, e 70 mesmo secundários menos resistentes, e concentração relativa de argilominerais resistentes e/ou óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, com inexpressiva mobilização ou migração de argila, ferrólise, gleização ou plintitização (SIBCs, 2009).

- **LVd2 – LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico:** possui horizonte A moderado, textura argilosa. Geralmente é encontrado no bioma cerrado, em área de relevo plano e suavemente ondulado. São solos com saturação por

bases baixa ( $V < 50\%$ ) na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (inclusive BA) (SIBCs, 2009).

#### 4.4.2. CAMBISSOLOS

Grupamento de solos pouco desenvolvidos com horizonte B incipiente. pedogênese pouco avançada evidenciada pelo desenvolvimento da estrutura do solo, alteração do material de origem expressa pela quase ausência da estrutura da rocha, ou da estratificação dos sedimentos, croma mais forte, matizes mais vermelhos ou conteúdo de argila mais elevados que os horizontes subjacentes (SIBCs, 2009).

Devido à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, as características destes solos variam muito de um local para outro. Assim, a classe comporta desde solos fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, de cor bruna ou bruno- 76 amarelada até vermelho escuro, e de alta a baixa saturação por bases e atividade química da fração argila (SIBCs, 2009).

- **CXbd22 – CAMBISSOLO HÁPLICO distrófico típico:** possui horizonte A moderado, textura média/argilosa, cascalhento/ não cascalhento + **ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico:** horizonte A moderado, textura média/argilosa, cascalhento/não cascalhento + **NEOSSOLO LITÓLICO distrófico típico:** horizonte A fraco; todos fase floresta subcaducifólia, relevo ondulado a forte ondulado.
- **CXbd21 – CAMBISSOLO HÁPLICO distrófico típico e léptico:** horizonte A moderado, textura média/argilosa, pedregoso/ não pedregoso + **NEOSSOLO LITÓLICO distrófico típico:** horizonte A moderado + **LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico:** horizonte A moderado textura média/argilosa.

#### 4.4.3. NEOSSOLOS

Compreende solos constituídos por material mineral, ou por material orgânico pouco espesso, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja em razão de características inerentes ao próprio material de origem, como maior resistência ao intemperismo ou composição química, ou dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo), que podem impedir ou limitar a evolução dos solos (SIBCs, 2009).



### Neossolo Flúvico

Solos derivados de sedimentos aluviais e que apresentam caráter flúvico. Horizonte glei, ou horizontes de coloração pálida, variegada ou com mosqueados abundantes ou comuns de redução, se ocorrem abaixo do horizonte A, devem estar a profundidades superiores a 150 cm (SIBCs, 2009).

- **RUbe1 – NEOSSOLO FLÚVICO Tb eutrófico típico:** horizonte A moderado + **GLEISSOLO MELANICO distrófico / GLEISSOLO HÁPLICO distrófico típico:** horizonte A moderado/ proeminente; todos fase floresta subperenifólia e campestre, relevo plano. Solos com argila de atividade baixa ( $T < 27$  cmolc/kg de argila) e saturação por bases alta ( $V \geq 50\%$ ) na maior parte dos primeiros 120cm da superfície do solo.

### Neossolo Litólico

Solos com horizonte A ou hístico, assentes diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (por volume), ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões) e que apresentam um contato lítico típico ou fragmentário dentro de 50cm da superfície do solo. Admite um horizonte B em início de formação, cuja espessura não satisfaz a qualquer tipo de horizonte B diagnóstico (SIBCs, 2009).

- **RLe5 – NEOSSOLO LITÓLICO eutrófico típico:** horizonte A moderado, textura média/argilosa, rochoso, pedregoso + **NEOSSOLO LITÓLICO distrófico típico:** horizonte A fraco + **AFLORAMENTO ROCHOSO;** todos fase floresta caducifólia, relevo montanhoso. Solos com saturação por bases alta.
- **RLd1 – NEOSSOLO LITÓLICO distrófico típico** A fraco/moderado; fase campo cerrado, relevo ondulado e escarpado. Solos com saturação por bases baixa ( $V < 50\%$ ).

#### 4.4.4. ARGISSOLOS

Compreende solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico. O horizonte B textural (Bt) encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico, sem apresentar, contudo, os requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes dos Luvisolos, Planossolos, Plintossolos ou Gleissolos (SIBCs, 2009).

Grande parte dos solos desta classe apresenta um evidente incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B, com ou sem decréscimo, para baixo no perfil. A transição entre os horizontes A e Bt é usualmente clara, abrupta ou gradual (SIBCs, 2009).

- **PVAe18 – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO eutrófico típico:** horizonte A moderado/ chernozêmico, textura média/argilosa + **LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico:** horizonte A moderado, textura argilosa + **NEOSSOLO LITÓLICO eutrófico típico:** horizonte A fraco; fase floresta subcaducifólia, relevo forte ondulado e montanhoso. São solos Eutróficos (saturação por bases 50%) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).

#### 4.5. GEOMORFOLOGIA

A bacia hidrográfica do rio São Miguel situa-se na Depressão do Alto São Francisco, inserida no Domínio da Bacia e Cobertura Sedimentar do São Francisco (BRASIL, 1983).

Na maior parte da bacia do rio São Miguel (cerca de 80%), predomina um relevo cárstico, definido pela dissolução de rochas carbonáticas do Grupo bambuí. São comuns lapiás, dolinas, uvalas e cavernas. Apenas o extremo leste da área é dominado pelo embasamento cristalino (DIAS e VELASQUES, 2002).

Segundo Saadi *et al.* (1998), a evolução geomorfológica da área se deu sob influência de atividade neotectônica, num contexto que favoreceu a reativação de estruturas antigas. As várias fases de evolução do carste, durante o Terciário e o Quaternário, se relacionam, ou com a simples presença de antigas falhas (controle passivo), ou com a movimentação de outras (controle ativo).

Saadi *et al.* (1998) dividiram a região em 3 domínios geomorfológicos. Um destes domínios está situado no centro e leste foi denominado Área de Concentração do Relevo Cárstico e subdividida em outras 3 unidades.

A bacia hidrográfica do rio São Miguel situa-se nas unidades de Arcos, que a leste é drenada pelo rio Candongas e apresenta depressão na cota 693m correspondente ao graben homônimo de direção N30W; esta é bordejada a nordeste por escarpas suaves sobre gnaisses e cobertura de pelitos e a sudoeste por escarpa contínua de calcário. Nesta unidade destacam-se feições cársticas como dolinas e lapiás. A Unidade Pains, no centro e sul, é a mais elevada com cotas variando de 965 a 730m. Ela é drenada pelo rio São Miguel e concentra a maior parte das feições cársticas exuberantes como torres, dolinas, uvalas, controladas pelas falhas N50W, além de sumidouros e drenagem subterrânea (SAADI *et al.*, 1998).

#### 4.6. MODELO DIGITAL DE ELEVÇÃO

A Figura 9 apresenta o modelo digital de elevação elaborado a partir das curvas de níveis vetorizadas de 20 metros de cartas topográficas 1:50.000 do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

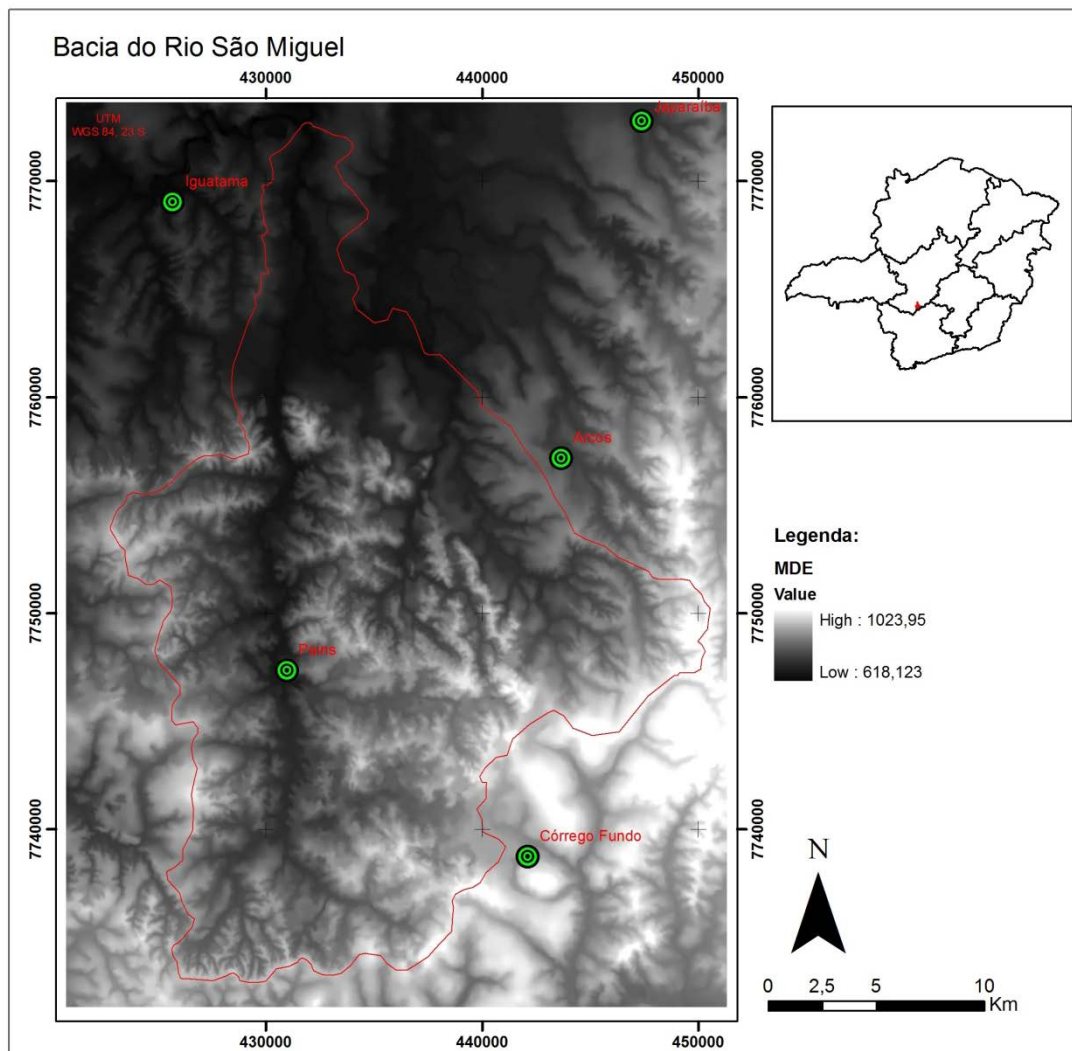


Figura 9 - MDE da bacia do rio São Miguel.

#### 4.7. HIDROGRAFIA

No carste, a drenagem subterrânea predomina sobre a superficial, sendo que, nas partes mais carstificadas quase não se veem riachos. A Figura 10 apresenta a drenagem superficial da bacia do rio São Miguel, onde na porção sudeste da área, a mais carstificada, a drenagem superficial praticamente desapareceu, dando lugar ao escoamento subterrâneo (DIAS e VELASQUES, 2002).

O extremo sul da bacia do rio São Miguel, as cabeceiras dos córregos das Moendas e do córrego da Barra, formadores do rio São Miguel localizam-se no município de Formiga, assim como o extremo leste da bacia, onde está localizada a

cabeceira do córrego das Almas, tributário do rio Candonga, principal afluente do rio São Miguel.

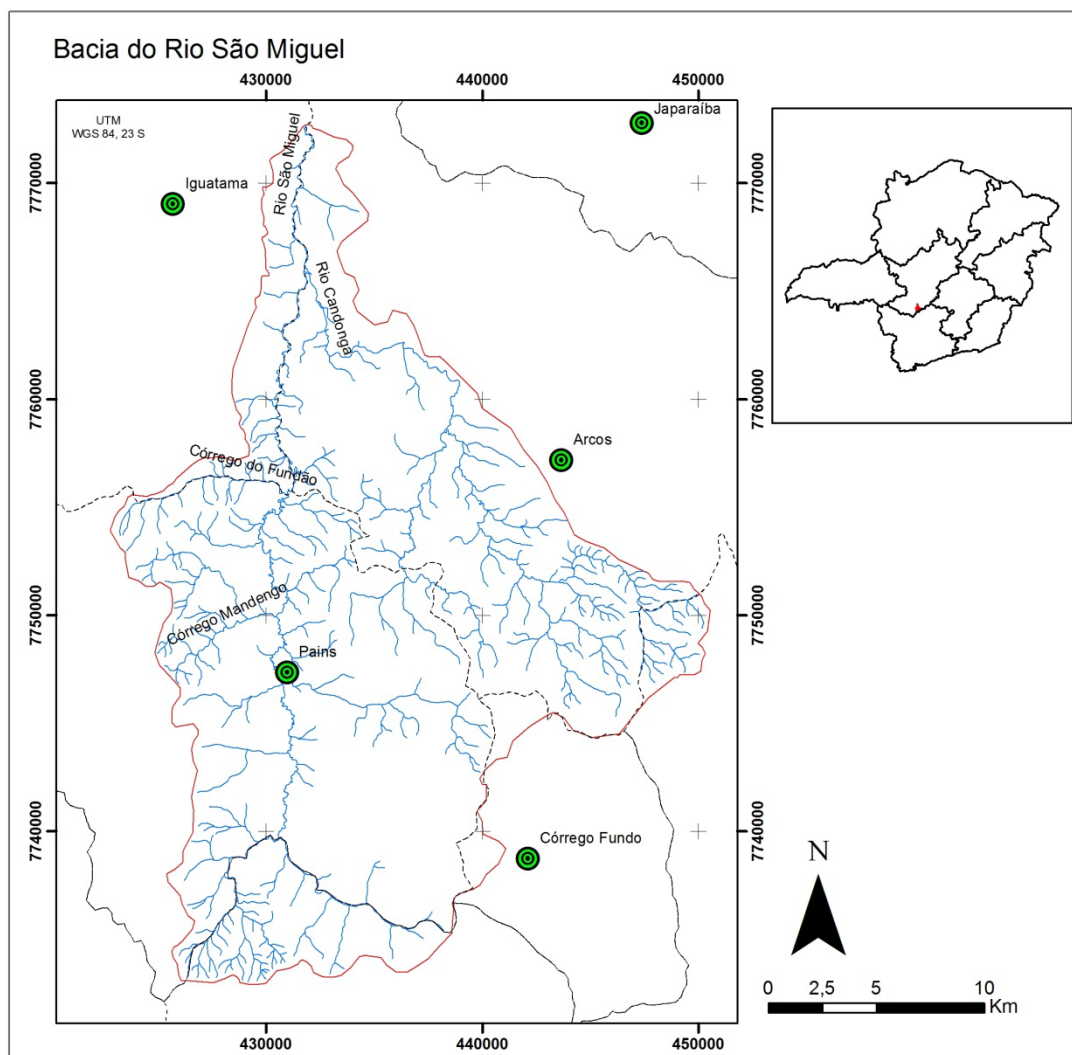


Figura 10 - Drenagem bacia do rio São Miguel.

#### 4.8. CLIMA

Segundo Haddad (2007), pelos princípios da classificação climática de Köppen, Gaussen e Bagnouls, e adaptando aos critérios a partir dos dados da estação pluviométrica de Bambuí, o clima foi classificado como tropical subquente semi-úmido com 4 a 5 meses secos.

Clima subquente por ser a média do mês mais frio (junho ou julho) menor que 18°C (entre 18 e 15°C), e a média das mínimas diárias de 10 a 6°C, temperatura média anual inferior a 22°C, variando entre 18 e 20°C, e com média do mês mais quente superior a 22°C. Semi-úmido por ter anualmente de 4 a 5 meses secos (HADDAD, 2007). A Figura 11 apresenta a pluviosidade medida pela estação de Bambuí para o ano de 2007. A pluviosidade média para este ano foi de 95mm.

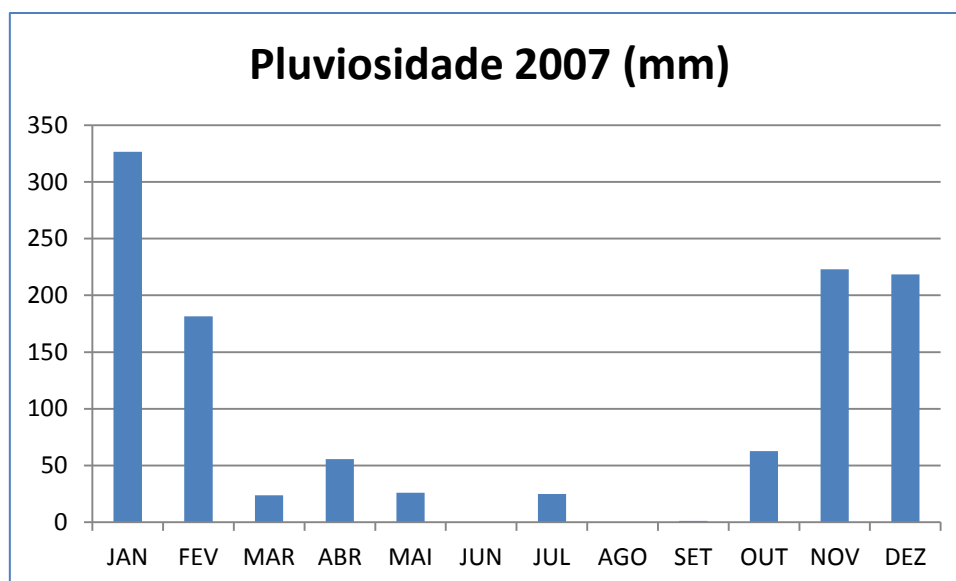


Figura 11 - Pluviosidade para a estação de Bambuí, 2007. Inmet.

#### 4.9. ASPECTOS ECONÔMICOS E SOCIAIS

##### 4.9.1. FORMIGA

O município de Formiga possui uma população de 65.128 habitantes e área de 1.501,915 Km<sup>2</sup>, (IBGE, 2010). Está inserido na Macrorregião do Sul de Minas, Mesorregião do Oeste de Minas e na Microrregião de Formiga.

Em 2009, Formiga possuía Produto Interno Bruto (PIB) Per Capita de R\$10.409,20 (FJP, 2009), sendo a principal atividade da cidade o setor de serviços. O índice de Desenvolvimento Humano (IDH) -M em 2000 era de 0,793, enquanto o de Minas Gerais era de 0,773 (PNUD, 2003).

##### 4.9.2. ARCOS

O município de Arcos possui população de 36.597 habitantes e área de 509.873 Km<sup>2</sup>, (IBGE, 2010). Está inserido na Macrorregião do Alto São Francisco, Mesorregião do Oeste de Minas e na Microrregião de Formiga.

Possuía em 2009 PIB Per Capita de R\$13.223,92 (FJP, 2009), sendo a principal atividade da cidade o setor de serviços seguido pelo setor industrial, onde se destaca a extração e o beneficiamento de minerais não metálicos.

Segundo Haddad (2007), as reservas minerais do município de Arcos são argila, calcário, dolomita e grafita.

O município conta com dois hospitais com 58 leitos, 4 bancos, 5 hotéis, uma universidade, um aeroporto particular e rede ferroviária (IBGE, 2010). O IDH-M em 2000 era de 0,808 (PNUD, 2003).

#### 4.9.3. PAINS

O município de Pains possui população de 8.014 habitantes e área de 421,862 Km<sup>2</sup>, (IBGE, 2010). Está inserido na Macrorregião do Alto São Francisco, Mesorregião do Oeste de Minas e na Microrregião de Formiga.

Possuía PIB Per Capita de R\$15.052,01 (FJP, 2009), sendo a principal atividade da cidade o setor de serviços seguido pelo setor industrial, onde se destaca a extração e o beneficiamento de minerais não metálicos.

Segundo Haddad (2007), as reservas minerais do município de Pains são argila, calcário, dolomita e grafita.

O município conta com 24 leitos, 7 estabelecimentos de saúde e uma agência bancária (IBGE, 2010). O IDH-M em 2000 era de 0,783 (PNUD, 2003).

#### 4.9.4. CÓRREGO FUNDO

O município de Córrego Fundo possui população de 5.790 habitantes e área de 101,112 Km<sup>2</sup>, (IBGE, 2010). Está inserido na Macrorregião do Sul de Minas, Mesorregião do Oeste de Minas e na Microrregião de Formiga.

Possuía em 2009 PIB Per Capita de R\$12.885,56 (FJP, 2009), sendo a principal atividade da cidade o setor industrial seguido pelo setor de serviços, onde se destaca a extração e o beneficiamento de minerais não metálicos.

O município conta com 4 estabelecimentos de saúde (IBGE, 2010). O IDH-M em 2000 era de 0,730 (PNUD, 2003).

#### 4.9.5. IGUATAMA

O município de Iguatama possui população de 8.029 habitantes e área de 628,200 Km<sup>2</sup>, (IBGE, 2010). Está inserido na Macrorregião do Alto São Francisco, Mesorregião do Oeste de Minas e na Microrregião de Pium-í.

Em 2009 seu PIB Per Capita de R\$28.889,67 (FJP, 2009), sendo a principal atividade da cidade o setor industrial seguido pelo setor de agropecuária.

O município conta com 7 estabelecimentos de saúde, 44 leitos e uma agência bancária (IBGE, 2010). O IDH-M em 2000 era de 0,786 (PNUD, 2003).

## 5. METODOLOGIA

A elaboração deste trabalho seguiu o fluxograma apresentado na Figura 12 abaixo:

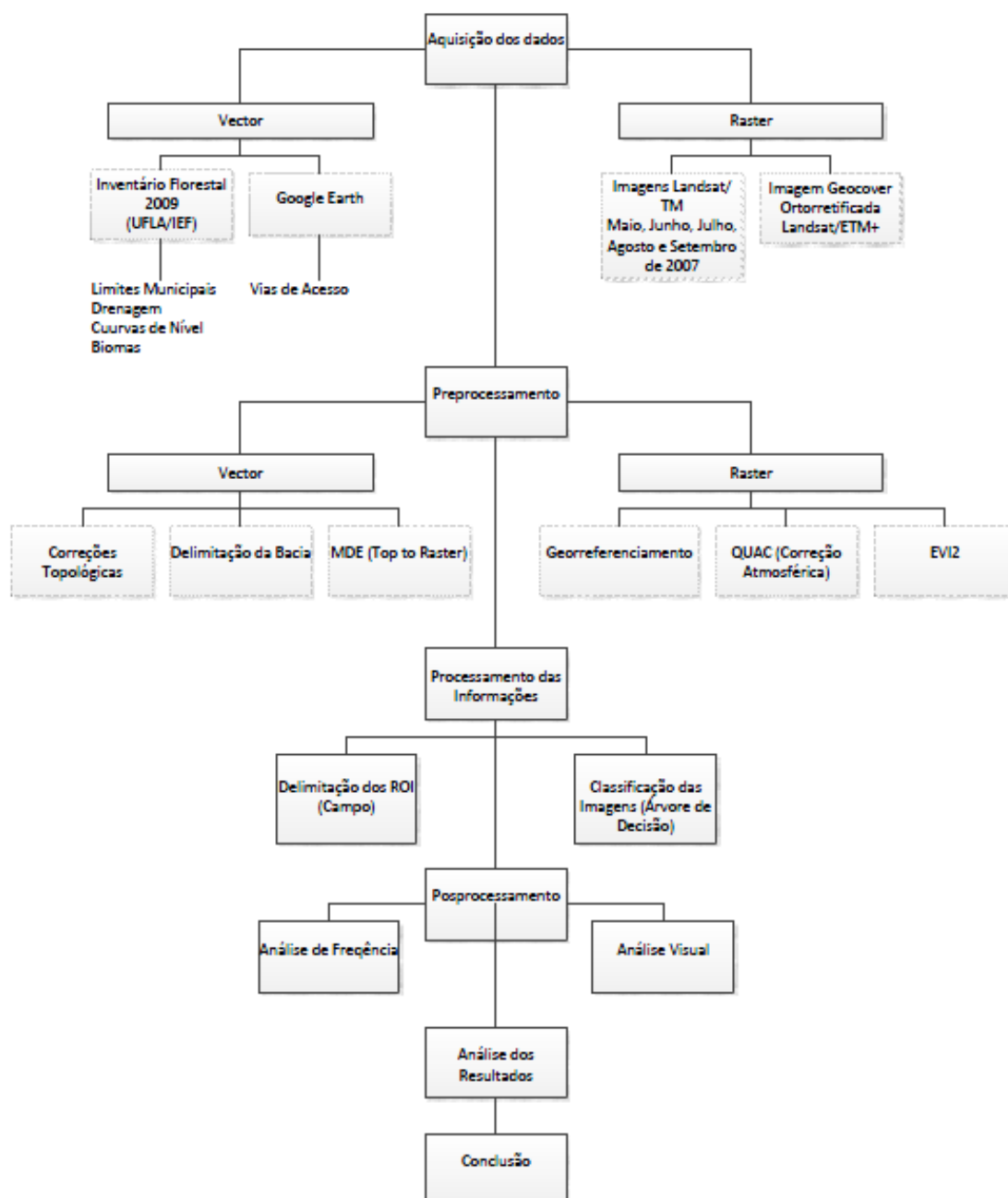


Figura 12 - Organograma do trabalho.

De início, foi obtida uma imagem *geocover* monotemporal (imagem ortorretificada do sensor ETM+/Landsat-7) disponível na página eletrônica da Universidade de Maryland a fim de obter conhecimento mais detalhado da área de estudo. A partir desta imagem, da vetorização dos principais acessos à área no Google Earth e da obtenção dos dados topográficos e hidrológicos vetoriais do

Inventário Florestal de Minas Gerais, foi delimitada visualmente a bacia do rio São Miguel.

Para a caracterização, foram utilizados dados vetoriais da área de estudo, como apresentados na Tabela 1. Na elaboração do modelo digital de elevação (MDE), foi utilizada a ferramenta Topo to Raster do *software* ArcGis 9.3.

Tabela 1 - Origem dos dados vetoriais.

<b>Dado</b>	<b>Origem</b>
Curvas de Nível	Inventário Florestal MG
Rede de Drenagem	Inventário Florestal MG
Limites Municipais	Inventário Florestal MG
Limite Estadual	Inventário Florestal MG
Biomassas	Inventário Florestal MG
Acessos	Google Earth
Geologia	CPRM
Pedologia	GeoMinas (UFV)

Após a delimitação e caracterização da área de estudo, foram obtidas imagens do sensor TM/Landsat-5 da página eletrônica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2007) do ano de 2007, pois, neste ano, está disponível um maior número de imagens com baixa cobertura de nuvens sobre a área de estudo. Na Tabela 2, é apresentada a órbita/ponto e as datas de passagem das cenas do sensor TM/Landsat-5 da área. A resolução temporal do Landsat é de 16 dias e cada cena cobre uma área de 185 km x 185 km no terreno.

Tabela 2 - Órbita/ponto e data de passagem do satélite Landsat.

<b>Órbita/Ponto</b>	<b>Data de Passagem</b>
219/074	12/05/2007
219/074	13/06/2007
219/074	15/07/2007
219/074	16/08/2007
219/074	17/09/2007

De posse das imagens das diferentes etapas do ciclo hidrológico, a correção atmosférica foi realizada a partir do módulo QUAC (QUick Atmospheric Correction) do *software* ENVI 4.8, que é considerado um método rápido utilizado para corrigir matematicamente os efeitos atmosféricos.

Após a correção atmosférica, as imagens foram georreferenciadas a partir da imagem *geocover* (imagem ortorretificada do ETM+/Landsat-7, obtida no dia 01/04/2004 e disponível na página eletrônica da Universidade de Maryland, 2009), no



sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) 35 (zona 23 Sul) e referencial geodésico WGS 84, com erro quadrático médio inferior a 1,4 pixels.

A partir das imagens georreferenciadas, foi derivado o EVI2 (*Enhanced Vegetation Index*). Para a aplicação do EVI2, foi utilizado o módulo Band Match do *software* ENVI 4.8, com a seguinte expressão proposta por Jiang *et al.* (2008):

$$\text{EVI2} = 2,5 \times (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + 2,4 \times \text{RED} + 1), \text{ onde:}$$

NIR = banda 4 (0,76 - 0,90  $\mu\text{m}$ )

RED = banda 3 (0,52 - 0,60  $\mu\text{m}$ )

Com as imagens das diferentes épocas do ciclo hidrológico representadas pelo EVI2, foi analisado o comportamento de diferentes áreas delimitadas em campo. Através de visita à área realizada nos dias 06 e 07 de setembro de 2012, foram delimitadas áreas referentes às seguintes fisionomias vegetais: Campo Sujo, FED e Mata de Galeria.

A delimitação das áreas referentes à ocorrência das fitofisionomias acima foi realizada através da marcação de trajetos e pontos com auxílio de um receptor de GPS (Global Positioning System) da marca Garmin, modelo Oregon 450. Após o campo, os dados do GPS foram analisados e ajustados visualmente em polígonos na imagem *geocover*, e em seguida, convertidos em arquivos no formato shp (*shapefile*) no *software* ArcGis 9.3.

Após a definição dos polígonos representantes de cada fitofisionomia, foram criados ROIs (regiões de interesse) no *software* ENVI 4.8.

A etapa seguinte compreendeu a soma das imagens referentes ao EVI2 ao longo do ciclo hidrológico (maio a setembro) de modo a obter o EVI2 acumulado. Este procedimento foi realizado através da ferramenta Band Match do *software* ENVI 4.8, após a junção das imagens em um mesmo arquivo e *spatial subset* conforme a fórmula abaixo:

$$\text{EVI2}_{\text{acumulado}} = \text{EVI2}_{\text{Maio}} + \text{EVI2}_{\text{Junho}} + \text{EVI2}_{\text{Julho}} + \text{EVI2}_{\text{Agosto}} + \text{EVI2}_{\text{Setembro}}$$

Após a obtenção da imagem referente ao EVI2 acumulado, foi analisado o comportamento dos ROIs em relação à diferença numérica dos valores de cada fitofisionomia, como descrito no item Resultados.

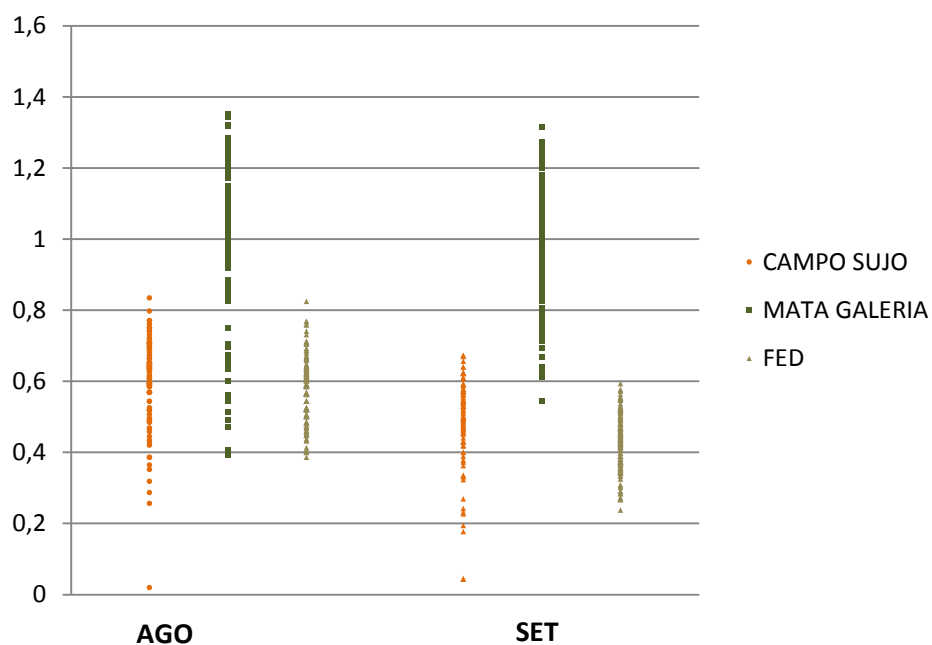
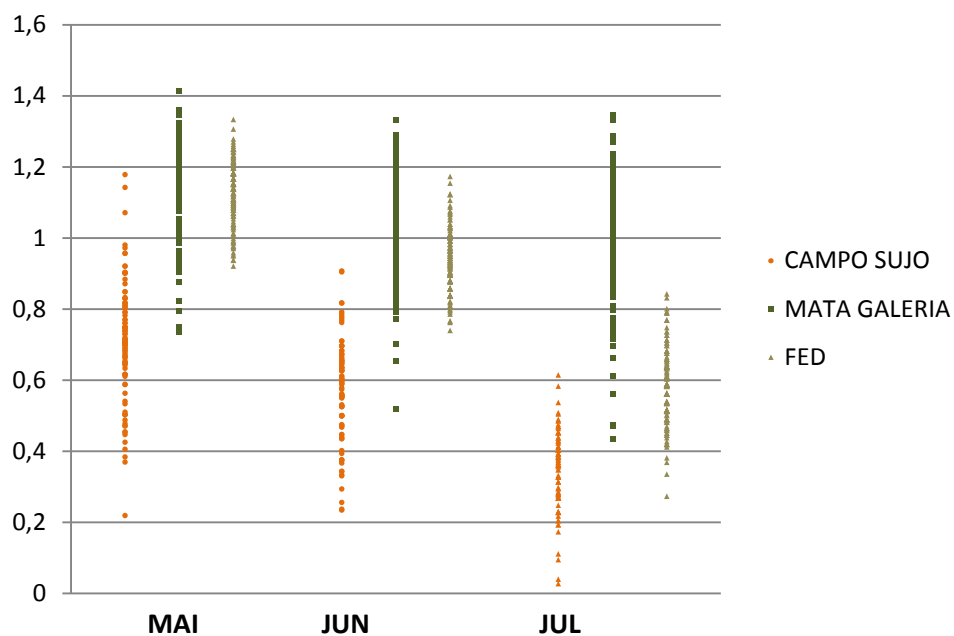
Realizada a comparação entre os dados obtidos no EVI2 acumulado, foi gerado um mapa de identificação da FED através da escolha dos intervalos numéricos

relativos à FED. A escolha foi baseada na análise de frequência da ocorrência dos valores de pixel do EVI2 acumulado. Escolheu-se o intervalo em que se obteve maior número de pixels excluindo-se os valores comuns às demais classes.

Após a escolha do intervalo correspondente a tal fitofisionomia, foi gerado o mapa de localização da Mata Seca a partir do Módulo Classification com a ferramenta Decision Tree. Para a classificação, foram utilizadas 5 classes: FED, Mata de Galeria e Campo Sujo, transição FED/Mata Galeria e FED/Campo Sujo. Foi utilizada uma máscara para eliminar as áreas referentes ao meio urbano e corpos d'água da classificação para diminuir a confusão entre os valores dos pixels. Os dados referentes às áreas urbanas e corpos d'água foram obtidos do Inventário Florestal de Minas Gerais (SCOLFORO *et al.*, 2009).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise dos dados de EVI2 para os ROIs de Campo Sujo, Mata Galeria e FED, nas imagens de Landsat dos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro/2007, além da imagem de EVI2 acumulado, podem-se gerar os seguintes gráficos a partir da dispersão dos valores de EVI2 para cada fitofisionomia:



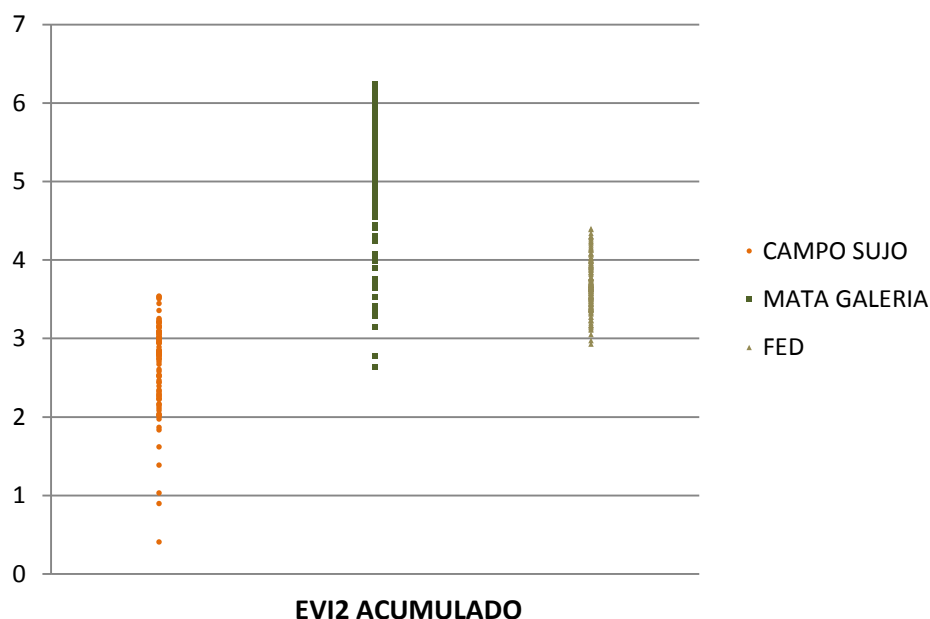


Figura 13 - Valores de EVI2 derivados de imagens Landsat para o campo sujo, mata de galeria, e mata seca da bacia do rio São Miguel - MG. Eixo Y: valores de EVI2; eixo X: meses de referência e EVI2 Acumulado.

A partir da análise dos dados, é possível observar que no EVI2 acumulado a distinção entre os valores de EVI2 é mais significativa quando comparado aos valores de EVI2s das imagens isoladas.

No mês de maio, final da estação chuvosa, os valores de EVI2 para a Mata de Galeria e para a FED são semelhantes, já que neste período a FED apresenta uma cobertura arbórea de 70% a 95%, mesma cobertura apresentada pela Mata Galeria (RIBEIRO e WALTER, 2008).

Com o fim da estação chuvosa, os valores de EVI2 da FED distanciam dos valores de Mata Galeria e se aproximam dos valores de EVI2 do Campo Sujo. Isso ocorre devido a alta deciduidade da FED, que no período de seca (setembro) apresenta cobertura arbórea inferiores a 35% (RIBEIRO e WALTER, 2008).

A partir do mês de agosto, a concentração dos valores de EVI2 da FED tende a ficar inferior à concentração dos valores de EVI2 do Campo Sujo. Isto pode ser explicado pelo fato da FED apresentar dossel fechado na época chuvosa, desfavorecendo a presença de espécies arbustivas (RIBEIRO e WALTER, 2008) e expondo o solo (afloramentos calcários) no período de seca em virtude do predomínio de espécies caducifólias. Já o Campo Sujo, apresenta fisionomia exclusivamente arbustiva-herbácea (RIBEIRO e WALTER, 2008) expondo menos o solo quando comparado a FED no período de estiagem. A Figura 14, Figura 15 e Figura 16 apresentam os EVI2 correspondentes às imagens Landsat/TM para os meses de maio, setembro e para o EVI2 acumulado respectivamente.

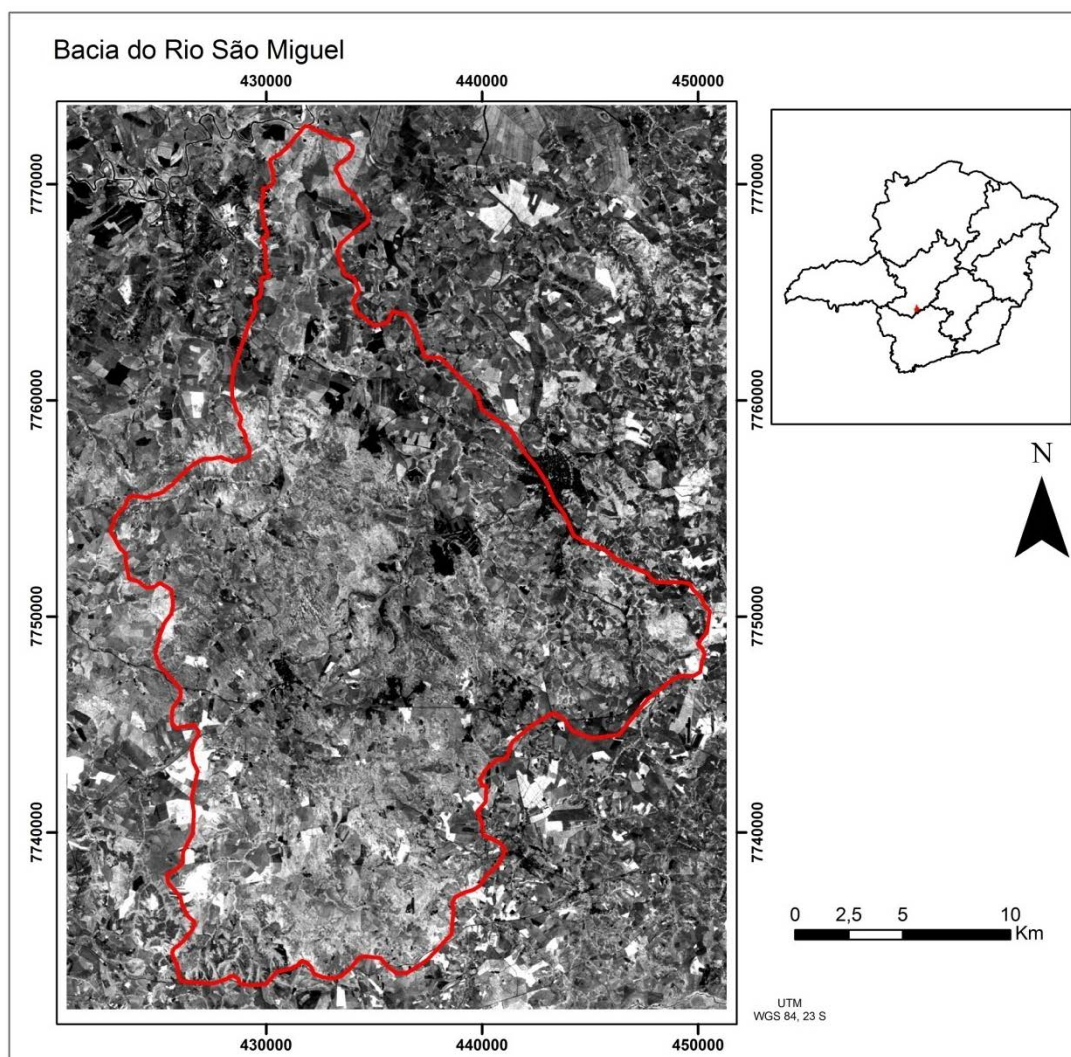


Figura 14 - Imagem de EVI2, maio de 2007.

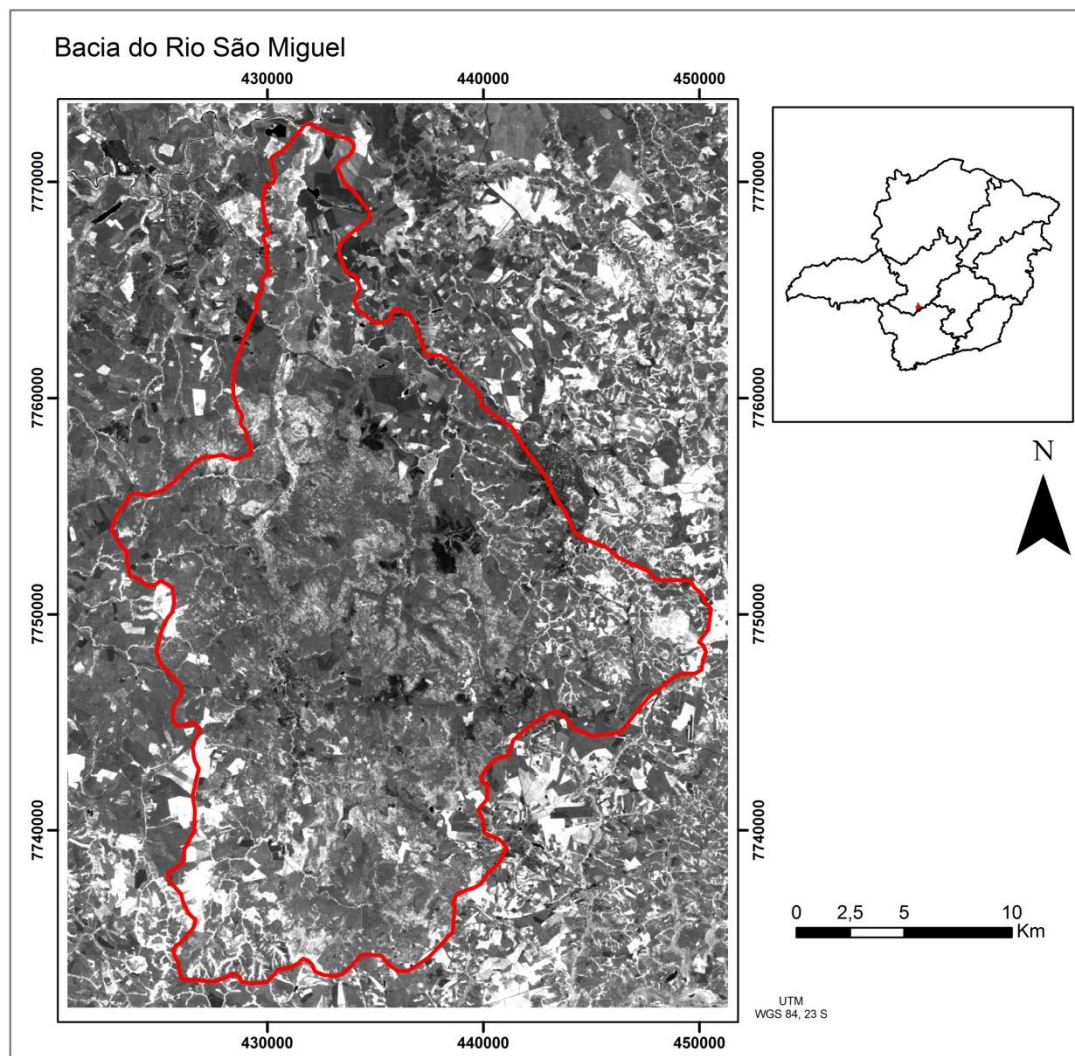


Figura 15 - Imagem de EVI2, setembro de 2007.



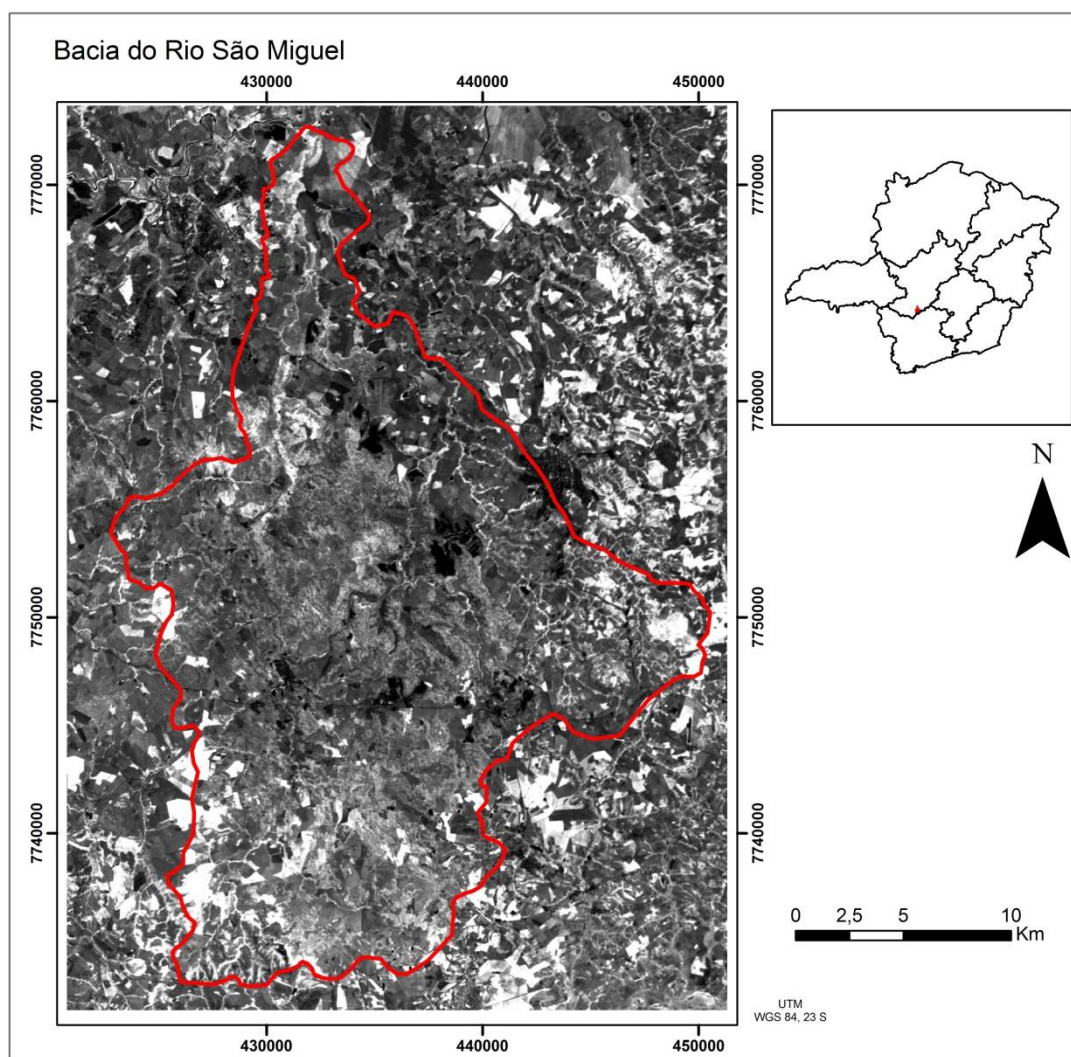


Figura 16 - Imagem de EVI2 acumulado.

Através da análise estatística da frequência dos valores de EVI2 na imagem de EVI2 acumulado para os ROIs das fitofisionomias de FED, Mata Galeria e Campo Sujo, utilizando a Regra de Sturges (Logaritmo) para a determinação do número de classes, obteve-se a classificação apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação dos Valores de Pixels.

FED			
n= 155	k= 8	L= 1,4692	h=0,18365
	MIN	MAX	Frequência
<b>Classe 1</b>	2,9306	3,11425	4
<b>Classe 2</b>	3,11425	3,2979	11
<b>Classe 3</b>	3,2979	3,48155	24
<b>Classe 4</b>	3,48155	3,6652	41
<b>Classe 5</b>	3,6652	3,84885	33
<b>Classe 6</b>	3,84885	4,0325	21
<b>Classe 7</b>	4,0325	4,21615	11
<b>Classe 8</b>	4,21615	4,3998	10

<b>Mata Galeria</b>			
n= 147	k= 8	L= 3,6055	h= 0,450688
	<b>MIN</b>	<b>MÁX</b>	<b>Frequência</b>
<b>Classe 1</b>	2,6413	3,091988	2
<b>Classe 2</b>	3,091988	3,542675	6
<b>Classe 3</b>	3,542675	3,993363	6
<b>Classe 4</b>	3,993363	4,44405	8
<b>Classe 5</b>	4,44405	4,894738	25
<b>Classe 6</b>	4,894738	5,345425	39
<b>Classe 7</b>	5,345425	5,796113	27
<b>Classe 8</b>	5,796113	6,2468	34

<b>Campo Sujo</b>			
n= 97	k= 7	L= 3,1311	h= 0,4473
	<b>MIN</b>	<b>MÁX</b>	<b>Frequência</b>
<b>Classe 1</b>	0,409	0,8563	1
<b>Classe 2</b>	0,8563	1,3036	2
<b>Classe 3</b>	1,3036	1,7509	2
<b>Classe 4</b>	1,7509	2,1982	12
<b>Classe 5</b>	2,1982	2,6455	20
<b>Classe 6</b>	2,6455	3,0928	40
<b>Classe 7</b>	3,0928	3,5401	20

Onde: n= número de Pixels;  
k= número de classes (Sturges);  
L= amplitude do conjunto de Pixels;  
h= amplitude da classe.

A partir desta classificação, foi estabelecido os intervalos correspondentes a cada fitofisionomia e mais dois intervalos correspondentes a transição entre FED e Mata Galeria; e FED e Campo Sujo de acordo com a Tabela 4:

Tabela 4 - Intervalos de EVI2 Acumulado.

<b>Fitofisionomia</b>	<b>Classes</b>	<b>MIN</b>	<b>MÁX</b>	<b>Frequência Acumulada</b>
FED	3 a 7	3,48155	3,84885	83,87%
Mata de Galeria	4 a 8	4,44405	6,2468	90,48%
Campo Sujo	4 a 7	2,1982	3,0928	94,85%
<b>Transição</b>				
FED X Mata de Galeria	-----	3,84886	4,44404	-----
FED X Campo Sujo	-----	3,0929	3,48155	-----

Estes intervalos foram utilizados para classificar a imagem de EVI2 acumulado com a ferramenta Decision Tree, a Figura 17 apresenta a configuração utilizada.



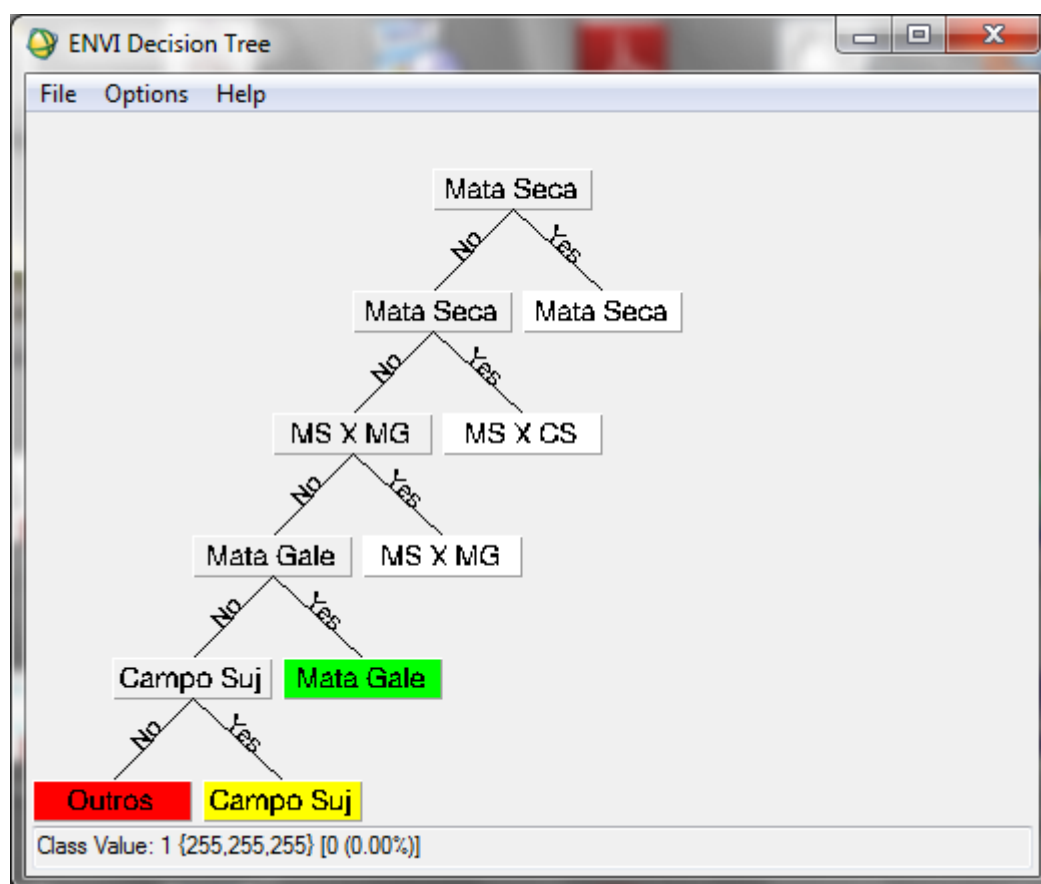


Figura 17 - Configuração utilizada para classificação da imagem de EVI2 acumulado no módulo Decision Tree.

Após a classificação a imagem *raster* foi convertida em formato *shape*. A Figura 18 apresenta o resultado da classificação com a identificação das áreas de ocorrência de FED, onde se considerou FED como as Classes “FED” e as Classes de transição “FED X Mata Galeria” e “FED X Campo Sujo”.

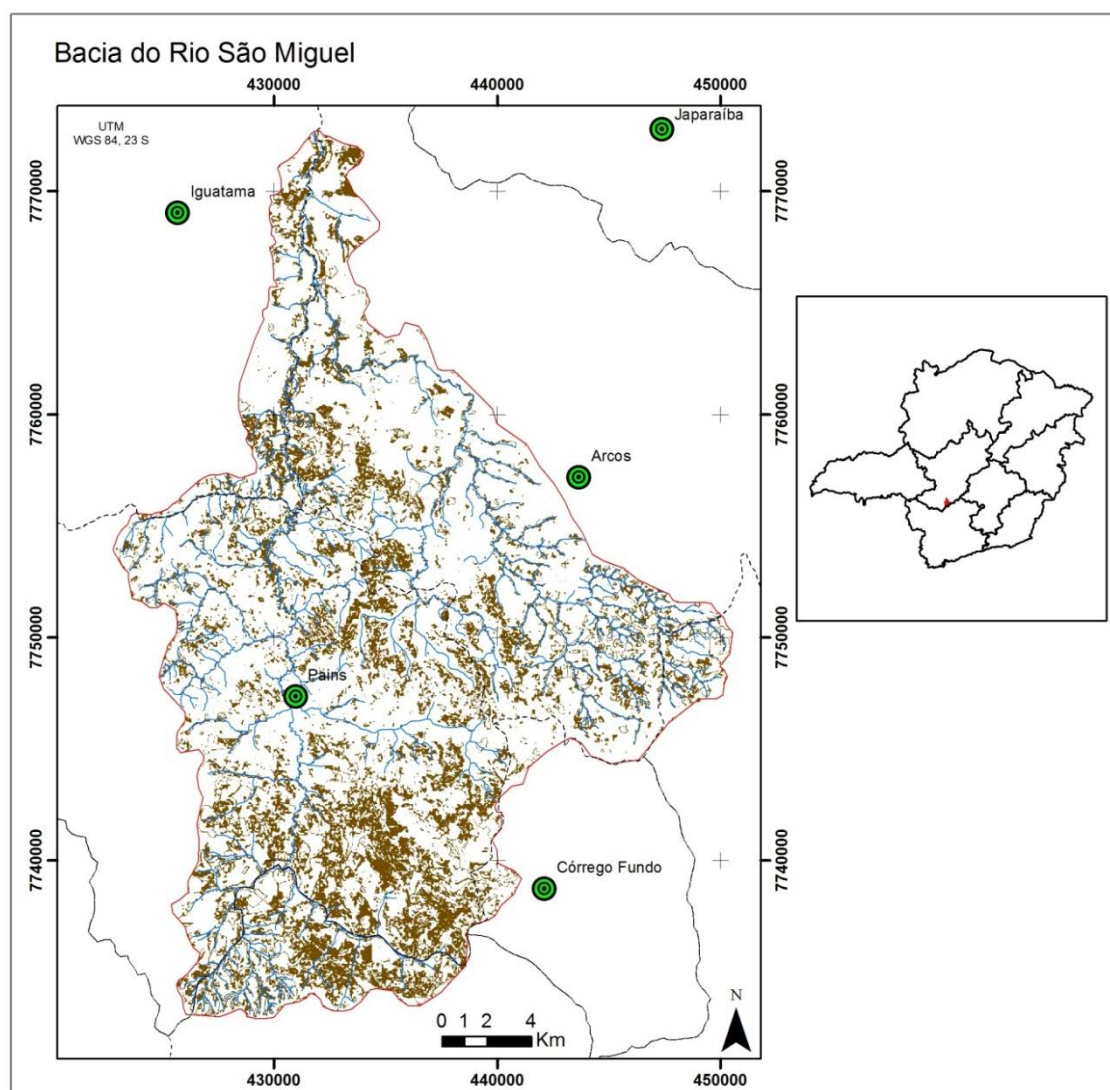


Figura 18 - Localização da FED.

Na Tabela 5 é apresentado a quantificação das áreas para as fitofisionomias em hectare e porcentagem em relação à área da bacia.

Tabela 5 - Quantificação de áreas ocupadas por diferentes classes de vegetação da área de estudo.

<b>Fitofisionomia</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
FED	12471	23,5%
Mata de Galeria	3870	7,3%
Campo Sujo	19165	36,1%
Outros (áreas urbanas, corpos d'água, e áreas agrosilvopastoris)	17595	33,1%
<b>Total</b>	<b>53101</b>	<b>100%</b>

## 7. CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos, é possível concluir que o índice proposto de EVI2 acumulado mostrou-se eficiente para identificação de FED a partir da análise sequencial de imagens Landsat TM ao longo do ciclo hidrológico (maio a setembro), porém, seriam necessários estudos futuros de análise de exatidão dos dados para validar o método com maior precisão.

Uma hipótese a ser considerada é a utilização do processo de conversão de números digitais para radiância no topo da atmosfera, de modo a aperfeiçoar os valores de EVI2 e, assim, aumentar a diferenciação entre as fitofisionomias vegetais.

A associação entre a presença de mata seca com tipologias geológicas e pedológicas também pode ser objeto de estudo para trabalhos posteriores já que foi observada presença concentrada de mata seca em regiões de formação calcária do grupo Sete Lagoas.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C. K.; CRUZ, C. B. M.; BARROS, R. S. Comparação do comportamento do NDVI e do EVI2 - um novo índice de vegetação. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2010. Recife, Brasil. *Anais do III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*. Recife: 2010. p. 1-4.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SF-24, Rio de Janeiro/Vitória; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1983. 780p. 5 mapas (Levantamento de Recursos Naturais v.32).

CARVALHO, A. P. F.; JÚNIOR, O. A. C.; GUIMARÃES, R. P.; MARTINS, E. S.; BUSTAMANTE, M. M. C. Utilização do Classificador *Spectral Correlation Mapper* em Imagens TM - LANDSAT. **Espaço & Geografia**, v. 5, n. 1, p. 219-232, 2002.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM/SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Piumhi - SF. 23 - V - B - II, escala 1:100.000: nota explicativa**. Ribeiro, A.; Paciullo, F. V. P.; Senra, A. S.; Valeriano, C. M.; Trouw, R. A. J. Minas Gerais: UFRJ/CPRM, 2007. 50p.

DIAS, F. S.; VELASQUES, L. N. M. Hidrogeologia da Bacia do Rio São Miguel, Municípios de Pains e Arcos- MG. In: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2002. Florianópolis, Brasil. 20p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. XXVI, 412p.

FELFILI, J. M.; CARVALHO, F. A.; FAGG, C. W. **Recuperação de matas secas e vegetações associadas no Vale do Paranã, Goiás**. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, 2007. 32 p.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHIRO - FJP. Análise Econômicas. 2009. Governo de Minas Gerais. **Produto Interno Bruto de Minas Gerais**. Disponível em: <<http://www.fjp.gov.br/index.php>>. Acesso em: 22 out. 2012.

GAO, X.; HUETE, A. R.; NI, W.; MIURA, T. Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. **Remote Sensing of Environment**, v.74, p. 609 - 620, 2000.

GOWARD, S. N.; MASEK, J. G.; WILLIAMS, D. L.; IRONS, J. R.; THOMPSON, R. J. The Landsat 7 mission: terrestrial research and applications for the 21st century. **Remote Sensing of Environment**, v. 78, p. 3 -12. 2001.

HADDAD, E. A. Influência Antrópica na Qualidade da Água da Bacia Hidrográfica do Rio São Miguel, Carste do Alto São Francisco, Minas Gerais. 156p. Dissertação (Mestrado). UFMG/IGC. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2007.

HERMUCHE, P. M. Modelagem da paisagem da floresta estacional decidual no Vão do Paranã. 137p. Tese (Doutorado). UFG/CIAMB. Goiânia, Goiás, 2010.

HERMUCHE, P. M.; FELFILI, J. M. Relação entre NDVI e florística em fragmentos de Floresta Estacional Decidual no Vale do Paranã, Goiás. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 1, p. 41-52, 2011.

HERMUCHE, P. M.; SANO, E. E. Identificação da Floresta Estacional Decidual no Vão do Paranã, Estado de Goiás, a partir da Análise da Reflectância Acumulada de Imagens do Sensor ETM+/ LANDSAT-7. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 63/03, p. 415-425, 2011.

HORWITZ, H. M.; LEWIS, J. T.; PENTLAND, A. P. Estimating proportions of objects from multispectral scanner data. Final Report, NSAS Contract NAS9-14123, NASACR-141862, 1975. 108p.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, n. 83, p. 195-213, 2002.

HUETE, A.R.; LIU, H.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W. A Comparison of Vegetation Indices Over a Global Set of TM Images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n.3, p.440-451, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Diretoria de Geodésia e Cartografia. **Arcos**. 1ª Ed., 1970. Folha SF 23-C-I-4, Carta do Brasil, Escala 1: 50.000.  
 \_\_\_\_\_. **Formiga**. 1ª Ed., 1969. Folha SF 23-C-II-3, Carta do Brasil, Escala 1: 50.000.  
 \_\_\_\_\_. **Lagoa da Prata**. 1ª Ed., 1969a. Folha SF 23-C-I-2, Carta do Brasil, Escala 1: 50.000.  
 \_\_\_\_\_. **Piui**. 1ª Ed., 1970a. Folha SF 23-C-I-3, Carta do Brasil, Escala 1: 50.000.  
 \_\_\_\_\_. **IBGE Cidades 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 22 out. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 92p.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. 2ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009, 604 p.

JIANG, Z.; HUETE, A. R.; DIDAN, K.; MIURA, T. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 3833-3845, 2008.

MACHADO, C. C. C.; OLIVEIRA, T. H.; GALVÍNCIO, J. D.; SILVA, J. S. Utilização do EVI e Albedo da superfície para análise das mudanças ambientais em parte do município de Corumbá, MS e Ladário, MS. In: II Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2009. Corumbá, Brasil. *Anais do II Simpósio e Geotecnologias do Pantanal*. Embrapa Informática e Agropecuária/ INPE. Corumbá: 2009. p. 460-469.

MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. **Sensoriamento remoto**: reflectância de alvos naturais. Brasília: UnB, Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 262 p.

MENESES, P. R. Princípios de Sensoriamento Remoto. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Meneses, P. R.; Almeida, T. CNPq: Brasília, 2012.

MURPHY, P. G.; LUGO, A. E. Ecology of tropical dry forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.17, p.67-88, 1986.

NASCIMENTO, E. R. P.; SANO, E. E. Identificação de Cerrado Rupestre por meio de imagens multitemporais do Landsat: proposta metodológica. **Sociedade & Natureza**, v.22, n.1, p.93 -106, 2010.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER J. A. Vegetation Physiognomies and Woody Flora of the Cerrado Biome. In the Cerrados of Brazil (P.S. Oliveira & R.J. Marquis, Editores). Columbia University Press, New York. p. 91-120, 2002.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Ed Parêntese. 2007. 126 p.

PONZONI, F. J. Reflectância dos Alvos Naturais. **Comportamento Espectral da Vegetação**. Meneses, P. R.; Madeira Netto, J. S. Embrapa. Brasília: Ed Unb: p 157-200, 2001

PRADO, D. E. Seasonally dry forests of tropical South America: from forgotten ecosystems to a new phytogeographic unit. **Edinburgh Journal of Botany**, v.57, n.3, p.437-461, 2000.

PRADO, D. E.; GIBBS, P. E. Patterns of species distributions in the dry seasonal forests of South-America. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v.80, n.4, p.902–927, 1993.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO - PNUD. Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil. 2003. **Governo de Minas Gerais**. Fundação João Pinheiro. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/IDH>>. Acesso em: 22 out. 2012.

QUINLAN. J. R. **C4.5: Programs for Machine Learning**. Morgan Kaufmann. California. 1993. 235p.

RATANA, P.; HUETE, A. R.; FERREIRA, L. Analysis of Cerrado physiognomies and conversion in the MODIS seasonal-temporal domain. **Earth Interactions**, v.9, n. 3, 2005. 22p.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. Cerrado: Ecologia e Flora. Planaltina: Embrapa Cerrados; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, v.1, Cap.6, p.151-199, 2008.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. As matas de galeria no contexto do bioma Cerrado In: RIBEIRO, J.F.; FONSECA, C.E.; SOUSA-SILVA, J.C., ed. **Cerrado**: caracterização e recuperação de matas de galeria. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, p.29 -47, 2001.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do bioma Cerrado In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S.P., ed. **Cerrado**: ambiente e flora. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, p.87-166, 1998.

RIBEIRO, J.F.; SANO, S.M.; MACÊDO, J.; SILVA, J.A. **Os principais tipos fitofisionômicos da região dos Cerrados**. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, 1983. 28p. (EMBRAPA-CPAC. Boletim de Pesquisa, 21).

RICHARDESON, A. J.; WIEGAND, C. L.; GAUSMAN, H. W.; CUELLAR, J. A.; GENERMANN, A. H. Plant, soil and shadow reflectance components of row crops. **Photogrammetric Engineering of Remote Sensing**, v. 41, p.1401-1407, 1975.

ROCHA, A. V.; SHAVER, G. R. Advantages of a two band EVI calculated from solar and photosynthetically active radiation fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**. 2009.

SAADI, A.; MORAIS, M. S.; CARDOSO, G. G. C. Evolução Morfotectônica e Carstogênese na região de Arcos-Pains-Doresópolis. In: II Simpósio Nacional de Geomorfologia, 1998. Florianópolis, Brasil.

SANCHEZ-AZOFEIFA, G. A.; KALACSKA, M.; QUESADA, M.; CALVO-ALVARADO, J. C.; NASSAR, J. M.; RODRIGUEZ, J. P. Need for integrated research for a sustainable future in tropical dry forests. **Conservation Biology**, v.19, n.2, p.285-286, 2005.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.153-156, 2008.

SANO, E. E.; FERREIRA, L. G. Monitoramento semidetalhado (escala 1:250.000) de ocupação de solos do Cerrado: considerações e proposta metodológica. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005. Goiânia, Brasil. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Goiânia: 2005. p. 3309-3316.

SCHOWENGERDT, R. A. Remote sensing: models and methods for image processing. San Diego: Academic Press, 2a ed., 1997. 522 p.

SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M. OLIVEIRA, A. D. **Inventário Florestal de Minas Gerais**. Lavras: UFLA, 2008. 816p.

SINGER, R.; MCCORD, T. B. Mars: large scale mixing of bright and dark surface materials and implication for analysis of spectral reflectance. In: Proc. 10th Lunar Planet Sci. Conf. p. 1835-1848, 1979.

THEODORIDIS, S.; KOUTROUMBAS, K. **Pattern Recognition**. 3. ed. San Diego: Academic Press, 2006. 651 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV); FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS; UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS; FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**: legenda expandida. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49p.